

УДК 629.113

В.В. Беляков¹, А.М. Беляев¹, П.О. Береснев¹, М.Е. Бушуева¹, Д.В. Зезюлин¹,
В.Е. Колотилин¹, Е.Е. Клубничкин², В.Е. Клубничкин², З.А. Кострова¹,
В.С. Макаров¹, А.В. Михеев¹, Д.М. Порубов^{1,3}, В.И. Филатов¹

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева¹,
Мытищинский филиал МГТУ им Н.Э. Баумана²,
АО ЦНИИ «Буревестник»³

Рассматриваются общие подходы к многокритериальной оценке качества машин. Приведены исторический и библиографический обзоры различных критериев для оценки проходимости, подвижности, эффективности и конкурентоспособности автотракторной и вездеходной техники. Целью проводимого исследования является определение критериев качества для обеспечения более точного сравнения различных теоретических моделей и натуральных образцов транспортно-технологических машин (ТТМ), а также выявление рациональных режимов использования транспортных средств (ТС).

Ключевые слова: критерий качества изделия, проходимость, эффективность, конкурентоспособность, подвижность, автотракторная техника, транспортно-технологические машины, транспортные средства, многокритериальная оценка качества, движитель.

Введение

Транспортные средства оцениваются большим числом критериев: функциональными, технологическими, экономическими, антропологическими и многими другими. Но не все они способны в полной мере составить объективную картину о качестве машины, не представляется возможным с высокой точностью сравнить их различные модификации и выявить наилучший вариант. Поэтому необходимо определять ряд критериев в зависимости от типа и назначения ТС. Для вездеходной техники наиболее рациональным с точки зрения оценки качества являются частные критерии проходимости, подвижности, эффективности и конкурентоспособности.

Объединив все частные критерии, приходим к многокритериальной оценке автотракторной техники, которая позволяет нам определить уровень качества изделия. В соответствии с ГОСТ 154467-79 (Управление качеством продукции) *качество – это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.*

Многокритериальная оценка автотракторной техники

Анализ и синтез сложных систем практически любой природы, в том числе и автотракторной техники, связаны с решением проблемы многокритериальности оценки их качества [1-8].

Действительно, во многих случаях объект характеризуется не одним критерием, а несколькими. При оценке конкурентоспособности число таких критериев может достигать ста и более [1]. Для проведения сравнения качества автотракторной техники и других технических изделий существует широкий спектр разнообразных критериев, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Критерии оценки автотракторной техники

Критерий	Расчетная зависимость	Обозначения	Автор, источник
1	2	3	4
Интегральный показатель оценки качества легковых автомобилей, $n_{\text{сум}}$	$n_{\text{сум}} = K_{\text{Д}}\Pi_{\text{Д}} + K_{\text{К}}\Pi_{\text{К}} + K_{\text{Б}}\Pi_{\text{Б}} + K_{\text{Э}}\Pi_{\text{Э}} + K_{\text{Н}}\Pi_{\text{Н}}$	$\Pi_{\text{Д}}$ – динамики автомобиля; $\Pi_{\text{К}}$ – комфортабельности; $\Pi_{\text{Б}}$ – безопасности; $\Pi_{\text{Э}}$ – эксплуатационных затрат на топливо, ТО и ремонт; $\Pi_{\text{Н}}$ – надежности; $K_{\text{Д}}$, $K_{\text{К}}$, $K_{\text{Б}}$, $K_{\text{Э}}$, $K_{\text{Н}}$ – коэффициенты весомости соответствующих комплексных показателей.	Фиттерман Б.М. [9]
	$K_j^k = K_j^{\text{э}} \sum_{i=1}^n K_{ij} C_i$ <p>коэффициент сохранения эффективности K_j-го объекта</p>	где K_j^k – относительный показатель i -го свойства j -го объекта; C_i – коэффициент важности i -го свойства.	Азгальдов Г.Г. [10]
	$K_i = \frac{X_i - X_{\text{min}}}{d} + 1$	$d = \frac{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}{K - 1}$ <p>K_i – количественное значение i-го признака; X_{max}, X_{min} – соответственно максимальное и минимальное значения признаков среди сравниваемых изделий;</p>	Красильников В.В. [10]
Частный показатель оценки топливной экономичности и тягово-динамических возможностей автомобиля коэффициент эффективности, $K_{\text{ЭФ}}$	$K_{\text{ЭФ}} = V_{\text{T}} / (Q/100)$	V_{T} – скорость движения ТС; Q – расход топлива, л;	Будалин С.В. [10]
Обобщенный показатель качества, V	$V = \prod_{j=1}^n \left[\prod_{i=1}^k \left(\frac{P_j}{P_{j\text{б}}} \right)^{m_{ij}} \right]^{m_j}$	$P_j, P_{j\text{б}}$ – значения i -го показателя качества новой и базовой моделей; m_{ij} – коэффициент весомости i -го показателя качества j -й группы; m_j – коэффициент весомости показателя качества j -й группы.	Плиев И.А. [11]
	$m_j = \sum_{i=1}^r a_{ij} / \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^r a_{ij}$	a_{ij} – ранги i -го показателя качества j -го эксперта; n – количество принятых для анализа показателей качества; r – количество экспертов.	Сероштан М.В. [10]
	$m_i = \frac{f(i)}{\sum_{i=1}^n f(i)} = 2^{(1-i)} / \sum_{i=1}^n 2^{(1-i)}$	i – порядковый номер показателя при ранжировании.	Титов Е.Ф. [14]

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
Метод измерения конкурентоспособности на основе Функция желательности, f	$f = 1/(e)^{1/e}$	e – основание натурального логарифма; x – приведенное значение исследуемого параметра объекта.	Харрингтон Е.С. [12]
Конкурентоспособность однопараметрических объектов, K	$K = \left(\frac{E_{ao}}{E_{lo}}\right) K_1 K_2 \dots K_n$	E_{ao} , E_{lo} – эффективность анализируемого и лучшего на данном рынке образца соответственно, единица полезного эффекта (денежная единица); $K_1, K_2, \dots K_n$ – коэффициенты, учитывающие конкурентные преимущества.	Фатхутдинов Р.А. [15]
Формула расчета эффективности объектов, E	$E = P_c / Z_c$	P_c – полезный эффект объекта за нормативный срок его службы в условиях конкретного рынка, единица полезного эффекта; Z_c – совокупные затраты за жизненный цикл объекта в условиях конкретного рынка, руб.	Будалин С.В. [10]
	$P_c = \sum_{t=1}^T P_{ct} \Phi_{ct} K_1 K_2 K_3 K_n$	T – нормативный срок службы, лет; P_{ct} – часовая паспортная производительность; Φ_{ct} – годовой плановый фонд времени работы; K_1, \dots, K_n – коэффициенты, характеризующие несоответствие показателей качества объекта требованиям потребителя, невыгодность их выполнения, низкую организацию эксплуатации и ремонта.	
Интегральный показатель уровня конкурентоспособности (ИПУК)	$\text{ИПУК} = I_{\text{нп}} I_{\text{тп}} / E_{\text{эп}} \geq 1;$ $I_{\text{нп}} = \prod_{i=1}^n q_i;$ $I_{\text{тп}} = \sum_{i=1}^n (d_{\text{нi}} / d_{\text{эi}}) a_i;$ $E_{\text{эп}} = C_{\text{па}} / C_{\text{пк}}$	q_i – частный показатель по i -му нормативному параметру; $d_{\text{нi}}$, $d_{\text{эi}}$ – величина i -го параметра анализируемого и эталонного объекта соответственно; a_i – удельный вес i -го параметра из их общего числа n ; $C_{\text{па}}$, $C_{\text{пк}}$ – цена потребления, включающая единовременные и текущие расходы за жизненный цикл анализируемого и конкурентного изделия соответственно.	

Продолжение табл. 1

<p>Оценка конкурентоспособности на основе сравнения сводных индексов потребительских свойств объектов, I_p</p>	$I_p = \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_{Hi}}{P_{эi}} \right) a_i$	<p>P_{Hi}, $P_{эi}$ – значения i-го параметра оцениваемого и эталонного товара.</p>	<p>Спиридонов И.А. [16]</p>
<p>Коэффициент полезного действия (КПД)</p>	$n_a = \left[mgH = m \sum (V_{ki}^2 - \frac{V_{oi}^2}{25.92}) \right] 100 / (S_y Q H_y)$	<p>g – ускорение свободного падения, м/с²; H – сумма приращения высот на всех подъемах маршрута, м; V_{oi}, V_{ki} – начальная и конечные скорости на i-м участке разгона, км/ч; S – длина маршрута, км.</p>	<p>Наркевич Э.И. [13]</p>
<p>Определение интегрального показателя конкурентоспособности, K_u</p>	$K_u = \frac{I_{НП} I_{ТП}}{I_{ЭП}}$ $I_{НП} = \prod_{i=1}^n q_{ni}$ $I_{ТП} = \sum_{i=1}^n (q_{mi} a_i)$ $q_{mi} = \frac{P_i}{P_{io}} 100\%$ $I_{ЭП} = C / C_o$	<p>$I_{НП}$, $I_{ТП}$, $I_{ЭП}$ – групповые показатели соответственно по нормативным, техническим и экономическим параметрам. q_{mi} – единичный показатель по i-му нормативному параметру; n – число нормативных параметров, подлежащих рассмотрению, P_i и P_{io} – i-й параметр соответственно анализируемого товара и образца. C – полные затраты потребителя на приобретение и потребление анализируемого товара; C_o – полные затраты для товара-образца.</p>	<p>Абалонин С.М. [17]</p>
<p>Интегральный показатель комплексной оценки грузового автомобиля, K_a</p>	$K_a = A / C_{сум}$	<p>A – работа, произведенная автомобилем, т-км; $C_{сум}$ – приведенные расходы на создание, изготовление, эксплуатацию и ремонт автомобиля, руб.</p>	<p>Григорьев М.А. [10]</p>
<p>Интегральный показатель качества автотранспортных средств, Q</p>	$Q = K_v K_o K_{эКВ} K_{СП} / S$	<p>K_v – коэффициент совершенства по средней скорости; K_o – комплексный показатель надежности; $K_{эКВ}$ – эквивалентный показатель оценки условий труда водителя; $K_{СП}$ – коэффициент учета специфических свойств машины; S – суммарные затраты на достижение результата использования автомобиля.</p>	<p>Будалин С.В. [18]</p>

Продолжение табл. 1

Оценочный показатель (приведенные удельные затраты $Z_{уд}$)	$Z_{уд} = \frac{C + E_H K}{K_B \Pi_T}$	K_B – коэффициент использования объекта по времени; Π_T – часовая производительность объекта.	Баловнев В.И. [19]
Технико-экономический показатель, $K_{тэ}$	$K_{тэ} = \frac{P}{3}$	P – отношение полезного эффекта, 3 – суммарные затраты за срок службы автомобиля	Будалин С.В. [10]
Показатель потребительской привлекательности, $K_{пп}$	$K_{пп} = C_p / ЭЦ$	C_p – цена реализации автомобиля; $ЭЦ$ – эквивалентная цена, которая обеспечивает потребителю одинаковые экономические затраты на единицу транспортной работы в сравнении с ценой автомобиля, принятого за эталон.	Дажин В.Г. [10]
Обобщающего показателя – приведенных затрат, 3_i	$3_i = S_i + E_H K_i \rightarrow \min$	S_i – текущие затраты (себестоимость) по i -му варианту, руб./год; K_i – капитальные вложения по i -му варианту, руб.	Хачатуров Т.С. [20]
Эффективность автомобиля, характеризующаяся себестоимостью перевозок	$S = \frac{C_{пер.ч} + C_{пост.ч}}{W_p}$	$C_{пер.ч}$, $C_{пост.ч}$ – соответственно переменные и постоянные расходы за 1 ч работы, руб.; W_p – часовая производительность автомобиля, т-км/ч.	Ванчукевич В.Ф.[21]
Приведенные затраты на перевозки, 3_n	$3_n = C_э = \frac{E_H (K - C_n) 100}{W_T}$	$C_э$ – эксплуатационные расходы на перевозку, руб./т-км; K – капиталовложения, необходимые для использования автомобиля или автопоезда, руб.; C_n – ликвидационная стоимость автомобиля, руб.; W_T – среднегодовая производительность транспортного средства, т-км.	Великанов Д.П. [22]
Масса народнохозяйственной чистой прибыли, M_i	$M_i = C_i - (C_i + E_H K_i) \Rightarrow \max$	C_i, C_i, K_i – соответственно годовой доход, годовые затраты и капиталовложения по i -му варианту.	Великанов Д.П. [10]
Эффективность эксплуатации автомобиля, $K_э$	$K_э = T / T_n$	T – время функционирования автомобиля при выполнении транспортной задачи; T_n – необходимое (целевое) время функционирования автомобиля для выполнения задачи.	Аксенов П.В. [10]

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
Среднечасовая производительность труда $\Pi_{\text{ч}}$	$\Pi_{\text{ч}} = \frac{W_{\text{г}}}{T_{\text{в}} + T_{\text{н-р}} + T_{\text{а-у}} + T_{\text{тор}}}$	<p>$T_{\text{в}}$, $T_{\text{н-р}}$, $T_{\text{а-у}}$ – количество часов работы за год соответственно водителей, рабочих, выполняющих погрузочно-разгрузочные работы, и административно-управленческого персонала, ч; $T_{\text{тор}}$ – полная трудоемкость ТО и ремонта транспортного средства за год, чел-ч.</p>	Великанов Д.П. [10]
Энергоемкость перевозок, Ξ	$\Xi = \frac{100Q\delta\lambda}{W}$	<p>Q – количество автомобильного топлива, расходуемого на перевозки за год, л; δ – плотность топлива, г/см³; λ – теплотворная способность (калорийность) топлива; в среднем для бензинов = 10600 ккал/кг, для дизельного топлива = 10460 ккал/кг.</p>	
Металлоемкость перевозок, M	$M = \frac{1000(G - G_{\text{з}} - G_{\text{н}} + K_{\text{д}}G_{\text{з}})}{W_{\text{г}}T_{\text{а}}\eta}$	<p>G – вес автомобиля в снаряженном виде, кг; $G_{\text{з}}$ – вес заправки, кг; 42 $G_{\text{н}}$ – вес неметаллических частей, кг; $G_{\text{з}}$ – вес агрегатов, запасных частей и металла, расходуемого в процессе эксплуатации за срок службы автомобиля или автопоезда, кг; $K_{\text{д}}$ – коэффициент дорожных условий эксплуатации; $T_{\text{а}}$ – амортизационный срок службы автомобиля или автопоезда, лет; η – коэффициент использования материала в производстве, являющийся отношением веса материала в товарном виде к весу в исходном (сырье), может быть принят для грузовых автомобилей, седельных тягачей, полуприцепов и прицепов равным 0,78.</p>	

Окончание табл. 1

1	2	3	4
Шиноемкость автомобиля, $M_{ш}$	$M_{ш} = \frac{1000n_{ш}G_{ш}}{L_{ш}q_{н}\gamma\beta}$	$n_{ш}$ – количество шин на автомобиле (без запасных), шт.; $G_{ш}$ – вес одной шины в комплекте с камерой и ободной лентой, кг; $L_{ш}$ – средний пробег шин, км; $q_{н}$ – номинальная грузоподъемность автомобиля, т.	

Если рассматривать многокритериальное оценивание при принятии какого-либо решения, то, прежде всего, необходимо определить связь, существующую между критериями и целью.

При оценке качественного уровня подвижности автотракторной техники с целью ее повышения в зависимости от конструкционных параметров и характеристик местности следует ввести некий критерий, который будет отражать подвижность рассматриваемого автотракторного объекта в количественном виде. Интегральный критерий, используемый для оценки качества объекта экспертизы, называют скалярным, а совокупность частных критериев, характеризующих дифференциальные качества объекта экспертизы – векторным критерием [1].

Согласно [3] в преобладающем большинстве отраслей, за редким исключением [4], оптимизация по векторному критерию практически не используется. Обычно большинство авторов ограничиваются однокритериальной оптимизацией без надлежащего ранжирования критериев и минимизации размерности критериального пространства [5]. Практически не используются и известные формализованные методы решения задач с ограничениями (в частности, метод последовательных уступок). Однако нередки случаи применения оценки по сложному интегральному критерию однопараметрического обобщенного аргумента, как весовой и нормированной совокупности частных аргументов дифференциальных критериев [2].

В работе [3] указывается, что «заклучение об эффективности функционирования сложных систем невозможно сделать на основании регистрации какого-либо одного показателя. Оценка, как правило, является многокритериальной и не сводится к стандартной оценке качества по одному критерию. Задания всей совокупности критериев часто недостаточно для выделения важнейшего: необходима дополнительная информация об относительной важности каждого из них».

Поскольку для оценки степени достижения каждой частной цели используется соответствующий ей критерий, то для представления системы критериев, предназначенных для оценки объекта, целесообразно использовать дерево критериев, отражающее структуру их иерархической подчиненности. Для того чтобы рассчитать для оцениваемого объекта значения критериев более высокого иерархического уровня, необходимо предварительно рассчитать значения критериев более низкого иерархического уровня.

Способы расчета значения критерия по значениям критериев более низкого иерархического уровня в настоящее время достаточно хорошо разработаны, и представлены, в частности, в работе [2].

Согласно [1] набор критериев, предназначенный для оценки объекта экспертизы, должен обладать рядом свойств, делающих его использование оправданным. В литературе (см. библиографию в работе [2]) по принятию управленческих решений они хорошо известны.

Полнота. Критерии, входящие в набор, должны обеспечивать адекватную оценку объекта экспертизы либо оценку степени достижения цели, стоящей перед лицом, принимающим решение (ЛПР). Другими словами, в наборе критериев *должны быть представлены критерии, характеризующие все основные аспекты оценки объекта экспертизы* либо степени достижения стоящей перед ЛПР цели. Получив значения оценок эксперта по каждому из критериев, входящих в состав набора интегрального критерия, необходимо иметь возможность определить требуемую оценку объекта экспертизы.

Действенность (операционность). Поскольку критерии предназначены для оценок объектов при принятии решений, они должны быть однозначно понимаемы как экспертами, так и ЛПР и способствовать выработке и принятию *эффективных решений*, то есть *характеризовать основные аспекты анализируемой ситуации и быть доступными для получения оценок по ним*.

Разложимость. Принцип разложимости отражает тот факт, что эксперту либо лицу принимающему решение удобнее работать с небольшим числом критериев. Если анализируемая ситуация такова, что она должна оцениваться с помощью слишком большого числа критериев, а, по оценке некоторых авторов [1], критериев должно быть не более 7, *то целесообразно разбить их (разложить) на более мелкие группы* для удобства одновременной работы с ними.

Отсутствие избыточности. Критерии должны быть не избыточными, чтобы *избежать дублирования при оценке анализируемой ситуации*. Бывает, что избыточность возникает за счет одновременного рассмотрения как критериев, характеризующих получаемые результаты, так и средств их достижения, либо одновременного рассмотрения как входных характеристик системы, так и выходных.

Минимальная размерность. Этот принцип также направлен на то, чтобы процедура многокритериального оценивания не была без необходимости слишком громоздкой и неадекватной. В набор критериев для оценки анализируемой ситуации *целесообразно включать лишь те критерии, без которых такая оценка невозможна, и произвести их нормировку к безразмерному виду*.

Для оценки по одному, определенному параметру необходимо перейти от интегральных критериев к частным, представляющих собой систему, в которой они могут быть рассмотрены как изолированные составляющие. Такие критерии как проходимость, эффективность и подвижность тесно связаны между собой и являются составляющими более общей системы - конкурентоспособности, но для оценки решений частных задач необходимо рассматривать их в частном порядке.

Критерии проходимости автотракторной и вездеходной техники

Прочность – свойство машины, относящееся одновременно к среде и к машине, к их взаимодействию. Это характеристика комплексная, она включает в себя ряд факторов, среди которых основными являются: физико-механические свойства полотна пути, конструкционные параметры движителя машины, её технические характеристики. Прочность рассматривается как одно из свойств подвижности, характеризующее способность машины преодолевать заданное расстояние кратчайшим путем, т.е. считается, что произошла потеря проходимости, если машина остановилась.

Для оценки проходимости машин по грунтам с низкой несущей способностью используются различные показатели, основные из которых приведены в табл. 2 [27].

Указанные показатели по своему физическому смыслу характеризуют: запас удельных сил тяги, неравномерность распределения давления, использования несущей способности грунта и погружение машины.

Таблица 2

Критерии проходимости

Расчетная зависимость	Принятые обозначения	Автор
1	2	3
$\kappa_{\text{СЦ}}\varphi > f_r + (1 + \kappa_{\text{СЦ}})f_m + f_k + f_{\delta} + tg\alpha$	$\kappa_{\text{СЦ}}$ – коэффициент сцепного веса; φ – коэффициент сцепления; α – угол подъема; f_{fm} – коэффициент сопротивления грунта, шины качению колеса; f_{δ} – коэффициент бульдозерного сопротивления; f_k – коэффициент сопротивления движения	Агейкин Я.С. [23]
$\Pi = \varphi - f$; $\lambda_C = V/V_P$; $\lambda_T = G_{ГР} / G_{ГР P}$; $\lambda_{\text{Э}} = Q / Q_P$; $\lambda_P = N / N_P$	Π – показатель проходимости; $\lambda_{\text{С,Т,Э,Р}}$ – коэффициенты скорости, грузоподъемности, экономичности, работоспособности; V – скорость движения машины V_P – расчетная скорость движения машины по дорогам с усовершенствованным покрытием	. Бабков В.Ф [24]
$K_{\text{ПОГР}} = h_k / H$	h_k – глубина колеи $K_{\text{погр}}$ – коэффициент погружения H – глубина болота, снега	Вараксин Ю.Н., Гмошинский В.Г. [25]
$\Pi = (1 - \sigma) / \psi$; $\psi = f_{\delta} / f_{ГР}$	σ – коэффициент буксования; f_{δ} $f_{ГР}$ – коэффициенты сопротивления движению по бетону и грунту	Софиян А.П. [26]
$\alpha = p_{\text{max}} / p$	p_{max} – максимальное давление; p – среднее давление	Гмошинский В.Г. [25]
$I = P_k / G$ $E = P_k V_0 / N$ $M = W_P V / N$	I ; E ; M – коэффициенты удельной силы тяги, тягового к.п.д, грузоподъемности; G – вес машины; V_0 – скорость машины N – мощность ДВС W_P – полезная нагрузка V – скорость движения	Диксон В. [27]
$\Pi = (M_{\varphi} - M_f) / M_{\varphi}$	M_f – момент сцепления колес с дорогой M_{φ} – момент сопротивления движению	Кнороз В.И. Шарикян Ю.Э. [28]
$\Pi = 1 - f / \varphi$	f – коэффициент сопротивления дороги φ – коэффициент сцепления	Крагельский И.В. [29]
$H = \sqrt{\frac{h_1 P_1 / C + (h_1 - k)^3 P_2 \varepsilon}{G \cos \alpha}}$	H – максимальная толщина снежного покрова, который может преодолеть машина; h_1 – величина погружения гусениц в снег; P_1 – площадь гусениц; P_2 – площадь днища машин; k – клиренс; C , ε – коэффициенты; G – вес машины; α – угол наклона пути к горизонту	Крживицкий А.А. [30]

Окончание табл. 2

1	2	3
$K_{IP} = \varphi_{kmax} / \varphi_{kmax\Delta}$	φ_{kmax} – коэффициент испытуемого автомобиля; $\varphi_{kmax\Delta}$ – коэффициент эталонного автомобиля	Платонов В.Ф. Чистов М.П. Аксенов А.И. [31]
Гусеница на опорных катках с пневматическими шинами: $MMP = 0,5W / 2n_r b \sqrt{D\delta_t}$	W – вес машины; n_r – число катков по борту; b – ширина гусеницы; D – диаметр катка; t – шаг гусеницы;	Д. Роланд
Гусеница с жесткими опорными катками $MMP = 12,6W / 2n_r A_t b \sqrt{Dt}$	δ_t – радиальная деформация пневматической шины под нагрузкой; A_t – площадь трака	
$K \geq h_{КОЛ}$	K – дорожный просвет $h_{кол}$ – глубина колеи	Рукавишников С.В. [32]
$K_H = p_{max} / p_{CP}$	K_H – коэффициент неравномерности распределения давления; $p_{нес}$ – несущая способность гусениц;	Скотников В.А. [33] Тетеркин А.Е.
$p_{нес} = A_0 + B_0 \Pi / S$	Π – периметр и площадь гусениц $A_0; B_0$ – коэффициенты, характеризующие прочность торфяной залежи; L – длина преодолеваемого участка;	
$T = L / V$	V – средняя скорость движения	
$m = q / p$ $n = H / h$ $S = T_{ц} / W$	m – показатель проходимости; q – несущая способность постели; P – наибольшее нормальное напряжение; n – показатель погружаемости; H – дорожный просвет; h – глубина погружения; S – показатель сцепляемости; $T_{ц}$ – предельное сцепление с грунтом; W – сопротивление движению	Яржемский С.И. [34]

Использование запаса удельной силы тяги в качестве показателя проходимости машин по грунтам с низкой несущей способностью отвечает физической картине взаимодействия системы «местность – машина». Однако этот показатель весьма статичен, удобен только для сравнения проходимости нескольких машин в одинаковых условиях, кроме того, предполагает экспериментальное определение коэффициентов сцепления и сопротивления движению.

Неравномерность распределения давления и максимальное значение давления движителя на грунт являются очень важными параметрами, которые во многом определяют образование колеи, сопротивление движению и проходимость машины. В то же время использование их в качестве показателя проходимости является очень неудобным. Во-первых, они не обладают наглядностью и не дают прямую оценку проходимости, т.е. из информации о величине α или P_{max} , например $\alpha=2,3$ или $P_{max}=150 \dots 200$ КПа, совершенно не ясно – машина проходит данный участок или нет. Во-вторых, из $\alpha_1=\alpha_2$, или $P_{max1}=P_{max2}$ совсем не следует, что проходимость первой и второй машин одинаковая, также и из $\alpha_1 < \alpha_2$ или $P_{max1} < P_{max2}$ далеко не всегда следует, что проходимость первой машины выше, чем второй.

Интересный критерий предложен в работе [35]. Сравнительную оценку опорной проходимости предлагается проводить в паре с эталонным автомобилем, т. е. автомобилем, проходимость которого признана достаточно высокой.

Погружение машины является наиболее заметным внешним признаком при движении по снежной целине, поэтому оно часто использовалось в качестве оценочного параметра проходимости машин. При этом в качестве условия потери проходимости применялось неравенство [32, 36]:

$$h_{\text{кол}} \leq k, \quad (1)$$

где $h_{\text{кол}}$ – глубина колеи; k – дорожный просвет.

Однако если снежное полотно пути имеет небольшую плотность, а движитель – высокие сцепные качества, то нарушение условия (1) не приведет к потере проходимости машины. На практике этот случай, по нашим наблюдениям, встречается достаточно часто. При этом машина деформирует снежный покров днищем, соответственно увеличивается сопротивление движению, но реакция снега, реализуемая в контакте движителя с полотном пути, достаточна для преодоления этого сопротивления. Поэтому условие (1) является заниженным при оценке проходимости машин по снегу.

В целом, проведенный анализ критериев проходимости машин по грунтам с низкой несущей способностью показал, что, определяя проходимость машин, для ее оценки стремились использовать какой-то простейший коэффициент или группу коэффициентов, которые не обладают наглядностью и не дают прямую либо дают заниженную оценку проходимости. При этом часто остается в стороне вопрос теоретического определения этих коэффициентов. Это в свою очередь не позволяет, с одной стороны, расчетным путем оценить проходимость существующих и проектируемых машин, с другой – наметить пути повышения их проходимости.

Наиболее рациональным критерием оценки проходимости наземных транспортных средств по снегу является, на наш взгляд, критерий, предложенный Л. В. Барахтановым [37].

Проходимость машин по снегу предлагается оценивать непосредственно по зависимостям силы тяги P_T (по сцеплению), силы сопротивления P_f и запаса силы тяги ΔP от высоты снежного покрова (рис. 1), причем построение графиков целесообразно вести и в область отрицательных значений запаса силы тяги, что позволит в первом приближении определить, в какой степени надо изменить силу тяги и силу сопротивления движению, чтобы обеспечить проходимость машины в данных условиях.

При этом условием проходимости машины является наличие запаса силы тяги ($\Delta P > 0$), а показателем проходимости – преодолеваемая высота данного снежного покрова $H_{\text{пр}}$. Предлагаемая оценка проходимости позволяет прогнозировать проходимость различных машин, и проводить их сравнение, оценивать проходимость машины при проектировании новых и модернизации существующих конструкций, определять влияние параметров машины на проходимость и наметить пути ее повышения. Вместе с тем, автор при выборе критерия, априори полагает, что сила тяги, которая может быть реализована в контакте со снежным полотном пути, меньше силы тяги, обеспечиваемой двигателем, т.е. раньше наступит полное буксование движителя, чем двигатель заглохнет.

Анализ тягово-динамических характеристик машин показывает, что это утверждение не всегда верно. Поэтому Аникин А.А. и Донато И.О. [38] предложили модернизировать данный критерий.

Известно, что потеря проходимости при движении машин по снегу может происходить по следующим причинам: сопротивление движению больше, чем сила тяги по двигателю P_d (проходимость по двигателю); сопротивление движению машины больше, чем сила тяги, реализуемая в контакте движителя со снежным полотном пути (проходимость по сцеплению). При этом возможны три варианта (рис. 2.):

- 1) $P_d \geq P_T$, для любых H , расчет проходимости ведется по силе тяги по сцеплению;
 - 2) $P_d < P_T$; $H < H_0$, расчет проходимости ведется по силе тяги по двигателю;
 - 3) $P_d \geq P_T$; $H \geq H_0$, расчет проходимости ведется по силе тяги по сцеплению;
- 3) $P_d < P_T$, для любых H , расчет проходимости ведется по силе тяги по двигателю.

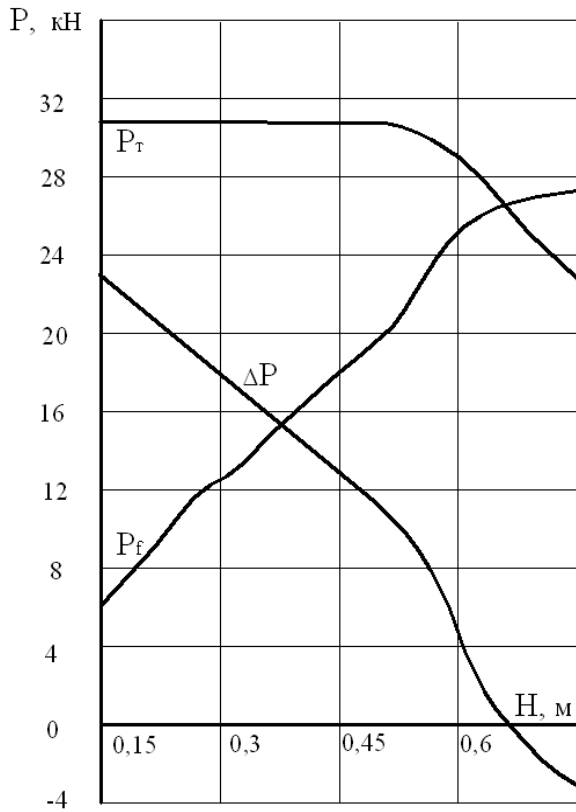


Рис. 1. Зависимости силы тяги, силы сопротивления и запаса силы тяги от высоты снега

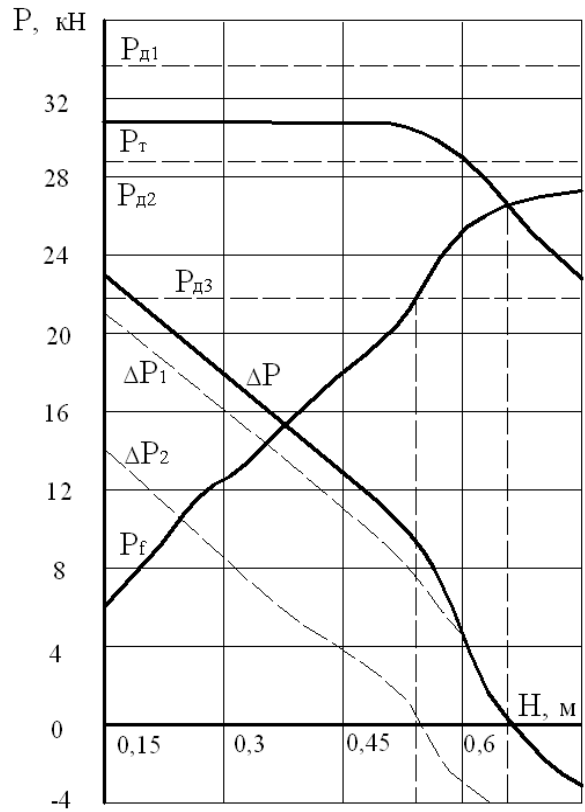


Рис. 2. Зависимости сил тяги, силы сопротивления и запаса силы тяги от высоты снега

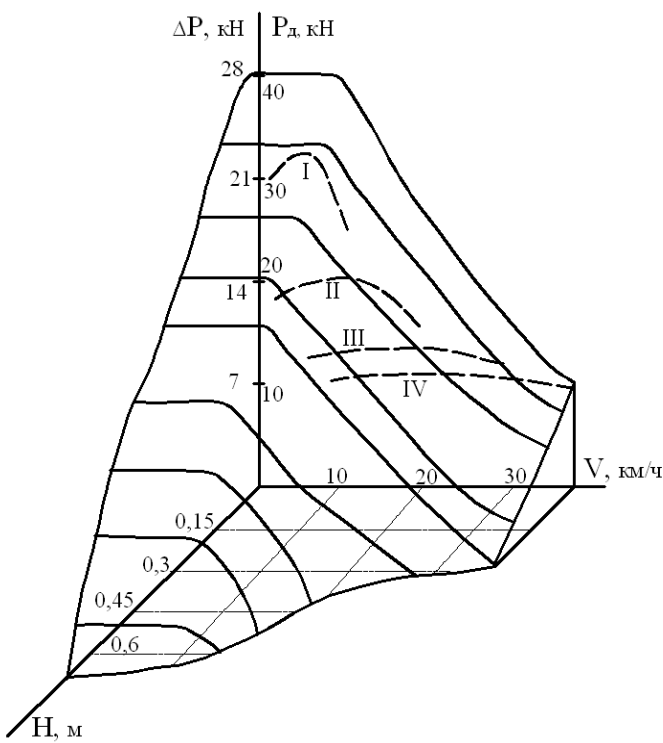


Рис. 3. Зависимость запаса силы тяги от высоты снега

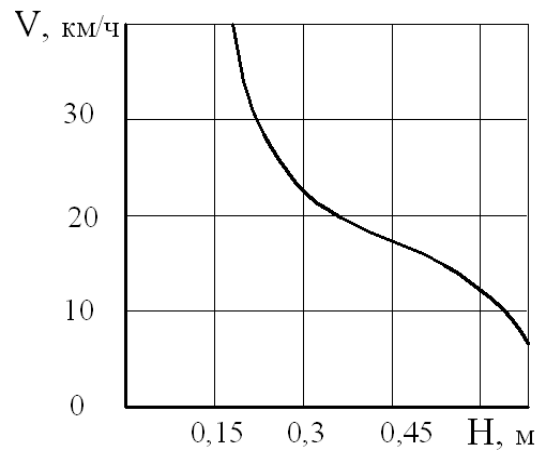


Рис. 4. Зависимость скорости движения от высоты снега

Тогда можно совместно рассмотреть зависимость запаса силы тяги ΔP от высоты снега и тяговую характеристику машины $P_d = f(V)$ и построить поверхность проходимости в зависимости от высоты снега H и скорости движения машины V (рис. 3). Совместное рассмотрение указанных закономерностей дает возможность рассчитывать подвижность машины, т.е. определять скорости движения в зависимости от высоты снега (рис. 4).

Таким образом, данный критерий позволяет оценивать проходимость и подвижность машины с учетом физико-механических свойств снега.

Современный уровень теории движения позволяет спроектировать ТС с большим запасом по проходимости, однако возникает вопрос об эффективности такой техники, так как материальные средства, затраченные на ее использование, могут превышать полученные, что приводит к отрицательному экономическому эффекту – снижению качества изделия.

Критерии эффективности автотракторной и вездеходной техники

С развитием науки и техники растет значение постоянного совершенствования процесса разработки новой техники. В общем смысле под эффективностью следует понимать степень соответствия машины ожидаемым требованиям потребителей.

В работе [39] отмечается, что, несмотря на широкое использование, термин «эффективность» не имеет однозначной трактовки. Эффективность наиболее полно можно характеризовать сравнением результатов деятельности с затратами на их получение. Эффективность как бы является вектором деятельности, показывает ее направление, а величину этого вектора можно обозначить как эффект.

Следует различать экономическую, научно-техническую, социальную, экологическую, техническую эффективность и т.д. Необходимо особенно подчеркнуть, что стратегическим ориентиром инновационной политики РФ является энергетическая эффективность.

В контексте норм федерального закона «об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» (23 ноября 2009 года N 261-Федеральный Закон) термин энергетическая эффективность определяется как характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта.

Тематика проводимого в рамках данной работы исследования соответствует пункту Перечня критических технологий Российской Федерации «Технологии создания энергоэффективных двигателей и движителей для транспортных систем». К транспортным средствам предъявляются требования эффективно выполнять транспортную работу, то есть совершать грузовые или пассажирские перевозки в сложных дорожных условиях в максимально короткие сроки и с минимальными эксплуатационными затратами. В зависимости от функциональных требований применяются различные критерии оценки характеристик эффективности работы внедорожных транспортных средств. В их числе оценочные показатели, предложенные Бабковым В.Ф. [40-41]:

$$\Pi = \varphi - f, \quad (2)$$

$$\lambda_C = \frac{V}{V_p}, \quad (3)$$

$$\lambda_T = \frac{G_{ГР}}{G_{ГРР}}, \quad (4)$$

$$\lambda_{\mathcal{E}} = \frac{Q}{Q_p}, \quad (5)$$

$$\lambda_P = \frac{N}{N_p}, \quad (6)$$

где Π – показатель проходимости; φ – коэффициент сцепления; f_k – коэффициент сопротивления движению; $\lambda_{C,T,\mathcal{E},P}$ – коэффициенты скорости, грузоподъемности, экономичности, работоспособности; V, G, Q, N – скорость движения машины, грузоподъемность, расход

топлива при движении по участку местности, пропускная способность; индекс «р» обозначает движение по дорогам с усовершенствованным покрытием.

Четыре перечисленных показателя позволяют оценить, в какой мере сохраняются показатели эксплуатационных свойств автомобиля при его использовании вне дорог по сравнению с условиями работы на усовершенствованных дорогах. Данные показатели дают удовлетворительный результат при сравнительной оценке проходимости одного автомобиля, движущегося по различным опорным поверхностям. Если использовать эти показатели для сравнения различных автомобилей в одних и тех же условиях движения, то у автомобилей, имеющих одинаковые параметры $v_m, m_{гм}, Q_m$ на определенных поверхностях движения, показатели проходимости ниже у автомобилей, имеющих более высокие значения v, m, Q на дорогах с усовершенствованным покрытием. По этой причине показатели $\lambda_c, \lambda_r, \lambda_s$ дорожных неполноприводных автомобилей всегда занижены по сравнению с полноприводными автомобилями.

Для оценки проходимости машин Диксон В. [42] вводит три коэффициента:

$$I = P_k/G, \tag{7}$$

$$E = P_k V_o/N, \tag{8}$$

$$M = W_p V/N, \tag{9}$$

где I, E, M – коэффициенты удельной силы тяги, тягового к.п.д., грузоподъемности; G – вес машины; V_o – скорость машины; N – мощность ДВС; W – полезная нагрузка; V – скорость движения.

Бронштейн Я.И. предложил оценивать эффективность функционирования транспортных средств с помощью фактора проходимости:

$$\Pi = \frac{G_m}{G_0} V_m, \tag{10}$$

где G_m – максимальная грузоподъемность колесной машины, а G_0 – собственный вес автомобиля, V_m – величина фактической средней скорости движения по маршруту.

Бронштейн Я.И. [43], а позже Безбородова Г.Б. [44] предложили более сложные (комплексные) показатели проходимости для оценки эффективности использования автомобиля вне дорог. Ими предложено в качестве оценки проходимости автомобиля рассматривать отношение фактической производительности автомобиля в данных тяжелых дорожных условиях к его максимальной конструктивной производительности в хороших дорожных условиях. Бронштейн этот критерий именуется «коэффициентом ограничения проходимости», а Безбородова – «критерием проходимости»:

$$C = \frac{G_{оэп} V_{оэп}}{G_{зр} V_a}, \tag{11}$$

где $G_{зр}, V_a, G_{оэп}, V_{оэп}$ – соответственно номинальная грузоподъемность и максимальная скорость движения машины по дорогам с усовершенствованным покрытием, и грузоподъемность и скорость в данных дорожных условиях.

Гребенщиков В.И. [45] предложил оценивать проходимость следующим коэффициентом - обобщенный эксплуатационный показатель:

$$A = G_{зр} S/tQ, \tag{12}$$

где $G_{зр}$ – грузоподъемность; t – время движения; S – пройденный путь; Q – расход топлива за пробег.

В качестве обобщающего (комплексного) показателя проходимости автомобиля в научно-исследовательском автомобильном и автомоторном институте (НАМИ) был предложен «фактор проходимости» Π , определяемый по формуле [46]:

$$\Pi = (m_m S_m / t_m Q_m) / (m_{и} S_{и} / t_{и} Q_{и}), \tag{13}$$

где m – масса перевозимого груза; S – длина преодолеваемого участка; t – время движения по этому участку; Q – масса израсходованного на этом участке топлива; индексы «м» и «и» обозначают соответственно движение по участку местности и по эталонной дороге.

Выражение в правой части, по сути, представляет собой два обобщенных эксплуатационных показателя В.И. Гребенщикова, где первый показатель характеризует движение колесной машины в данных дорожных условиях, а второй – при движении по эталонной дороге. То есть, это выражение показывает, насколько снижается средняя скорость, полезная нагрузка и экономичность колесной машины, эксплуатирующейся в данных дорожных условиях по сравнению с эталонным маршрутом.

Так же, как и показатели проходимости, комплексные факторы проходимости могут быть применены для сравнительной оценки эффективности использования конкретного автомобиля на различных участках местности, расположенных вне дорог [47].

Беккер М.Г. предложил оценивать проходимость колесных машин коэффициентом эффективности [48, 49]:

$$\eta_{or} = \frac{W_p V}{u_h l}, \quad (14)$$

где W_p – полезная нагрузка, V – скорость колесной машины в данных дорожных условиях, u_h – часовой расход топлива, l – оперативный запас хода. Если из этого выражения убрать оперативный запас хода, то оно преобразуется в выражение В.И. Гребенщикова.

Аналогичным является показатель полезной производительности, предложенный В.Ф. Платоновым (только без учета расхода топлива)[50]:

$$\Pi = \frac{G_m S}{t} \text{ или } \Pi = G_m V_m. \quad (15)$$

Для характеристики эффективности внедорожного транспортного средства по реализации мощности двигателя в мощность на крюке Дж. Вонг [51] предложил использовать коэффициент тяговой эффективности. Он определяется как отношение мощности на крюке P_d к соответствующей мощности P , вырабатываемой двигателем:

$$\eta_d = \frac{P_d}{P} = \frac{F_d V}{P}, \quad (16)$$

где $V_n V_t$ – действительная и теоретическая скорости машины соответственно, F – тяговая сила, $\sum R$ – результирующая сила сопротивления движению, i – коэффициент буксования. Теоретическая скорость — это скорость машины при отсутствии пробуксовки, определяемая частотой вращения коленчатого вала двигателя, передаточным отношением трансмиссии и радиусом колеса.

Мацкерле Ю. и Вонг Дж. [51] ввели удельную транспортную эффективность, которая определяется как отношение транспортной производительности к соответствующей входной мощности системы:

$$\eta_{tr} = \frac{W_p V}{P}, \quad (17)$$

где W_p – полезная нагрузка, P – мощность двигателя колесной машины.

Последние формулы более удобны для сравнения колесных машин, так как в них отсутствует трудноопределимый показатель Q .

В работе [52] приводится КПД, оценивающий эффективность перевозочной работы h_{na} . Функционирование автомобиля целесообразно оценивать с помощью «КПД транспортного процесса» («КПД по перемещению полезного груза»), характеризующего уровень эффективности перевозочного процесса.

В работе [53] приводится следующий коэффициент эффективности:

$$P_{эф} = V_{cp} / Q_{SK}, \quad (18)$$

где Q_{SK} – контрольный расход топлива, л/100 км; $P_{эф}$ – коэффициент эффективности, км²/(ч·л).

Для сравнительной оценки автомобилей, отличающихся по грузоподъемности, рекомендуется [54] комплексный показатель – удельная производительность:

$$W_{y\partial} = (m_n V_{cp}) / Q_s [m \cdot км^2 / ч \cdot л], \tag{19}$$

где m_n – масса перевозимого груза, т.

В этой же работе отмечается, что этот показатель характеризует эффективность работы автомобиля с учетом его грузоподъемности, скорости движения и соответствующего расхода топлива.

В работе [55] в качестве критерия технико-эксплуатационной эффективности принимается условная удельная производительность:

$$W_{y\partial} = (m_a V_{cp}) / Q_s [m \cdot км^2 / ч \cdot л], \tag{20}$$

где m_a – полная масса автомобиля, т.

В работе [54] вводится коэффициент эффективности работы автомобиля:

$$\eta_{эф} = ((m_n V_{cp}^2) / (Q_s \gamma_m)) C, \tag{21}$$

где C – постоянный коэффициент $C=1/115000$; γ_m – удельный вес топлива.

Данный коэффициент эффективности работы автомобиля характеризует эффективность превращения тепловой энергии топлива в кинетическую энергию полезной нагрузки. Чем выше $\eta_{эф}$, тем эффективнее работа автомобиля.

В работе [56] для оценки и формирования технико-экономической эффективности ТС – критерий технико-экономической эффективности $K_{m-ээ}$, (тк·м/л):

$$K_{m-ээ} = (m_a V_{cp}) / G_{mcp}. \tag{22}$$

В данной формуле: G_{mcp} – средний часовой расход топлива (л/ч), соответствующий средней скорости движения V_{cp} .

Основные из рассмотренных критериев оценки эффективности использования транспортных средств сведены в табл. 3 [81].

Таблица 3

Критерии оценки эффективности использования колесных машин

Критерий	Расчетная зависимость	Автор
1	2	3
Коэффициент эффективности η_{0r}	$\eta_{0r} = \frac{W_p V}{U_h L}$	Беккер М.Г. [48]
Удельная транспортная эффективность η_{tr}	$\eta_{tr} = \frac{W_p V}{P_e}$	Вонг Дж. [51]
Коэффициент полезной мощности силовой установки $f_{pe, cy}$	$f_{pe, cy} = \frac{P_e}{(m_a g) V}$	Ларин В.В. [57]
Удельная производительность машины $W_{y\partial}$	$W_{y\partial} = (m_r V) / Q_s$	Токарев А.А. [47]
Коэффициент удельной грузоподъемности M	$M = \frac{(W_p V)}{P_e}$	Диксон В. [27]
Обобщенный эксплуатационный показатель A	$A = (m_a S) / (t Q_s)$	Гребенщиков В.И. [45]
Тяговый к.п.д. Машины; Коэффициент тяговой эффективности η_d	$\eta_d = \frac{F_{KP} V}{P_e}$	Панов В.И., Вонг Дж. [51]

Окончание табл. 3

1	2	3
Критерий технико-экономической эффективности $K_{m-э}$	$K_{m-э} = (m_a V) / U_h$	Трембовельский Л.Г. [56]
Показатель энергетической эффективности колесной машины	$\frac{A_{ПОЛ}}{A_{СОВ}} = \frac{\int R_X \cdot V dt}{\int M_{ТР} \cdot \omega_K dt}$	Горелов В.А. [46]
<p>m_e – масса перевозимого груза; w_p – полезная нагрузка; q_s – путевой расход топлива; v – скорость движения машины; p_e – потребляемая мощность двигателя; t – время движения; s – пройденный путь; u_h – часовой расход топлива; l – оперативный запас хода; m_a – полная масса машины; $f_{кр}$ – сила тяги на крюке машины; $A_{ПОЛ} = \int R_X \cdot V dt$ – «полезная» работа силы тяги на колесах; $A_{СОВ} = \int M_{ТР} \cdot \omega_K dt$ – «совершенная» работа подводимого к колесам крутящего момента.</p>		

Для оценки энергетической эффективности колесной машины при движении по снегу в работах [58, 59] предлагается использовать следующий показатель, равный отношению «полезной» работы силы тяги на колесах $A_{ПОЛ} = \int R_X \cdot V dt$ к «совершенной» работе подводимого к колесам крутящего момента $A_{СОВ} = \int M_{ТР} \cdot \omega_K dt$.

$$\frac{A_{ПОЛ}}{A_{СОВ}} = \frac{\int R_X \cdot V dt}{\int M_{ТР} \cdot \omega_K dt}. \quad (22)$$

Также оценку эффективности возможно проводить посредством использования следующих показателей [58, 59]:

- отношение «совершенной» работы $A_{СОВ}$ к пройденному пути X ;
- значения соотношений работы $A_{СОВ}$ к пройденному пути X и $A_{ПОЛ}$ к пройденному пути X .

Для выбора рациональных параметров движителя транспортного средства с точки зрения энергетической эффективности в работах [60-63] предложен следующий метод. Основными показателями взаимодействия компонентов системы «местность-машина» являются тяговое усилие и крутящий момент. В то время как тяговое усилие определяет проходимость машины, крутящий момент непосредственно связан с потреблением энергии [60-63]:

$$\begin{aligned} T &= \left(\frac{D}{2}\right)^2 b \int_{\theta_1}^{\theta_2} \tau(\theta) d\theta, \\ P &= T\omega, \\ E &= \int_{t_0}^{t_f} T(t)\omega(t) dt. \end{aligned} \quad (23)$$

Таким образом, (при постоянной скорости) необходимо стремиться к максимизации тягового усилия и сведению к минимуму крутящего момента, необходимого для реализации этого тягового усилия. Рассматриваемые силовые факторы определяются размерами колесного движителя.

Разнообразие транспортно-технологических машин на базе автотракторной техники, используемых человеком в своей ежедневной экономическо-производственной и социально-политической деятельности, привело к созданию множества оценочных комплексов их эффективности.

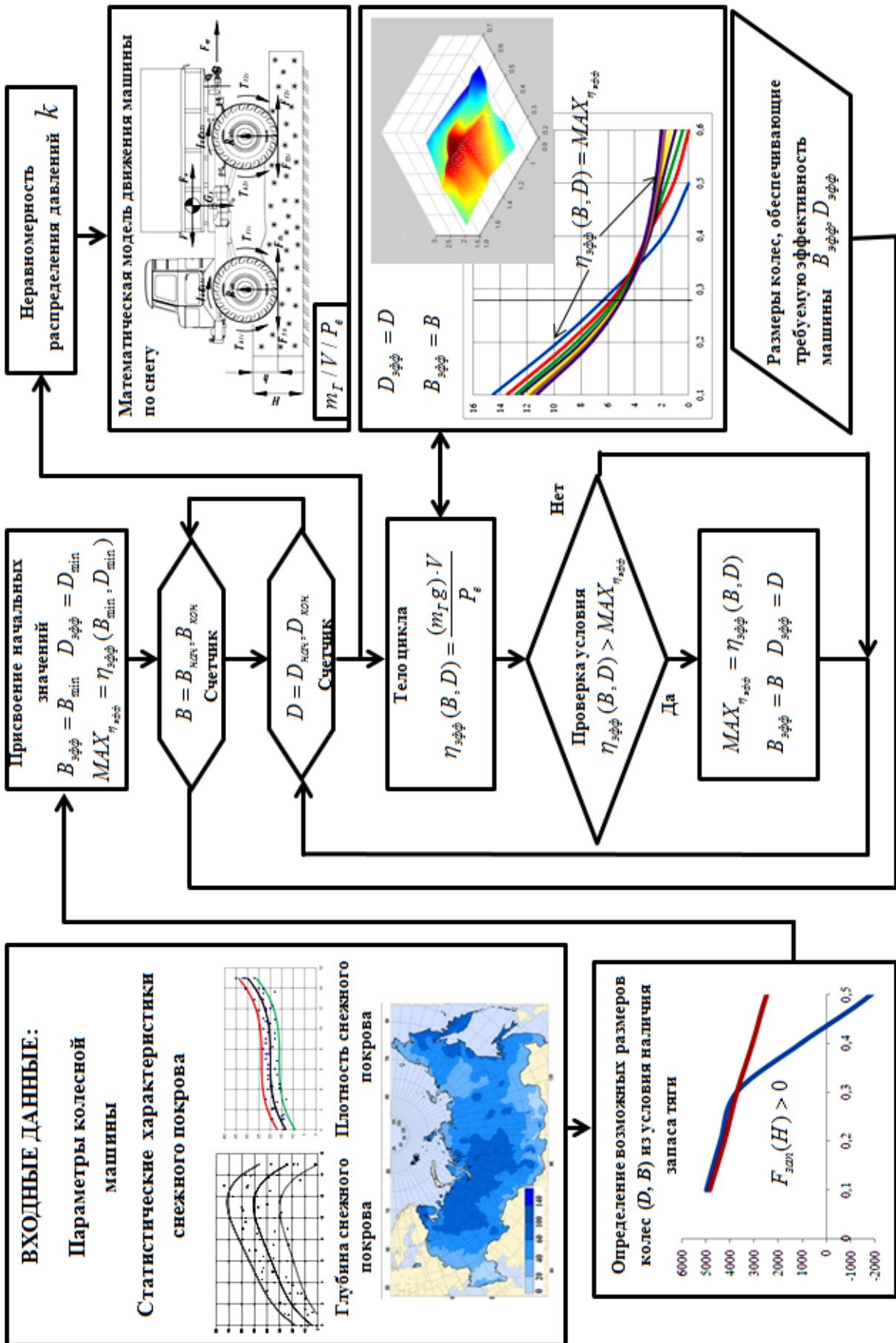


Рис.5. Методика расчета эффективности транспортно-технологической машины

При разработке транспортно-технологических машин (ТТМ) для бездорожья и в том числе для заснеженной местности (как наиболее сложной для движения), проектировщик задается вопросом обеспечения необходимого уровня проходимости машины. Незученным моментом при проектировании колесных машин является расчет эффективности их движения на местности. При этом, если машины обладают достаточной проходимостью на местности, это еще не означает, что во всех случаях это достигается рациональным образом по эффективности. Под эффективностью понимается обобщающий показатель, характеризующий отношение результатов деятельности к затратам на их получение.

Повышение эффективности ТТМ при движении может быть достигнуто за счет усовершенствования конструкции как самой машины, так и её движителя. Также при оценке эффективности движения ТТМ необходимо учитывать степень ее соответствия условиям эксплуатации. Проходимость и эффективность должны быть сопоставлены с меняющимися в течение года погодными условиями.

Наиболее рациональным критерием оценки эффективности ТТМ при движении является показатель, определяемый как отношение транспортной производительности к соответствующей входной мощности системы (потребной мощности двигателя):

$$\eta_{\text{эфф}} = \frac{(m_T g) \cdot V}{P_e}, \quad (24)$$

где m_T – масса перевозимого груза; V – скорость транспортного средства; P_e – потребная мощность двигателя машины.

На рис. 5 представлена блок-схема методики выбора конструкционных параметров движителей ТТМ на основе расчетной оценки эффективности движения машин по бездорожью, в частности по снегу. В предложенной методике используется цикл со счётчиком (перебор), в котором базовые геометрические размеры движителя изменяют своё значение от заданного начального значения до конечного значения с некоторым шагом, и для каждого соотношения размеров тело цикла выполняется один раз. Начальные значения параметров движителя определяются из условия проходимости (наличия запаса силы тяги), а рациональные с точки зрения эффективности – в результате решения задачи «поиска максимального элемента массива». В качестве элементов массива данных выступают значения эффективности транспортно-технологической машины при движении по бездорожью (снегу), а в качестве индексов этих элементов – параметры конструкционных элементов движителя из заданного диапазона, существующих и возможных для использования.

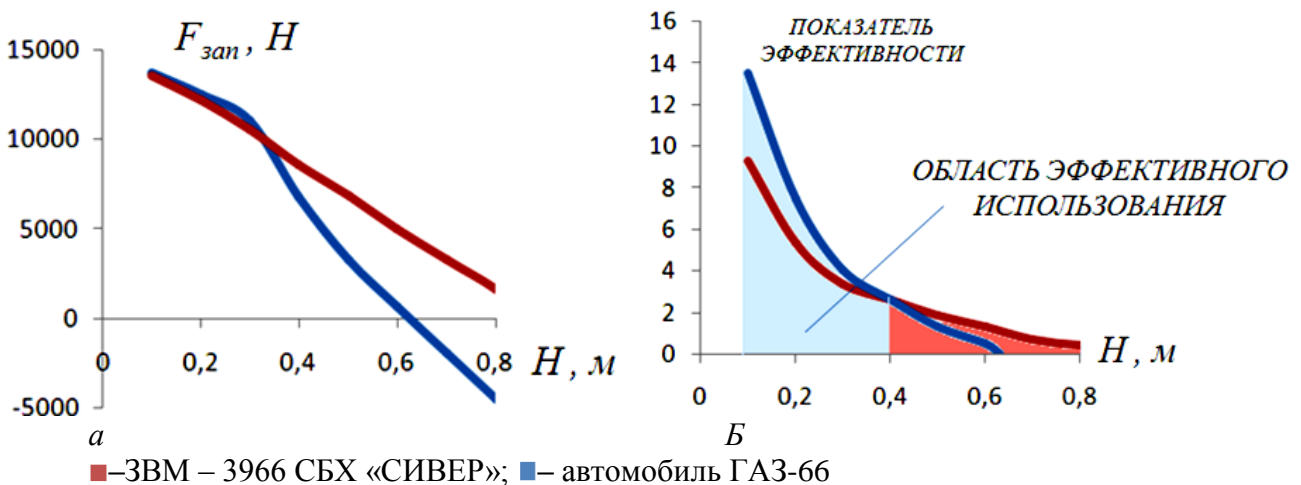


Рис. 6. Зависимости:

а – запасов силы тяги сравниваемых машин от высоты снега;
б – показателей эффективности сравниваемых машин от высоты снега

На рис. 6 приведен пример результатов расчетных исследований проходимости и эффективности для автомобилей ГАЗ 66 на шинах КИ-115А 12.00 R18 (рис. 6, а) и ЗВМ – 3966 СБХ «СИБЕР» на шинах ИЯВ-79 (21,3-24) 1400x540 (рис. 6, б). Полные массы автомобилей близки и находятся в пределах 5800 – 6150 кг. Представленные графики демонстрируют следующее: при выборе конфигурации движителя необходимо учитывать, что при обладании колесными машинами проходимость в заданных условиях их эффективность может быть различной.

Данные графики иллюстрируют то, что при глубинах снега менее 0,4 м эффективнее для выполнения транспортно-технологических операций использовать стандартный автомобиль, а для больших глубин модифицированную колесную машину.

Критерии эффективности и проходимости являются обособленными и абсолютно не коррелируют друг с другом, поэтому необходимо ввести интегрирующий критерий, которым является критерий оценки подвижности.

Критерии оценки подвижности автотракторной техники

Обзор работ по подвижности автотракторной техники проведен в работе [64]. Авторы данной работы в публикациях [65-89] позиционируют подвижность как интегральное эксплуатационное свойство транспортно-технологических машин (ТТМ), определяющее её способность выполнять поставленную задачу с оптимальной адаптивностью к условиям эксплуатации и техническому состоянию самой машины, то есть возможность машины противостоять внешним и внутренним факторам, препятствующим выполнению поставленной задачи. Таким образом, процесс поддержания подвижности является ключевым в решении проблемы обеспечения устойчивого и безопасного функционирования мобильных наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов.

На рис. 7 в соответствии с изложенной в работах [90, 91] типологизацией систем управления транспортно-технологическими машинами по классификационному признаку (решаемая задача управления) представлена четырехуровневая взаимопоглощающая конструкция управления ТТМ. Как видно из схемы, управление подвижностью мобильных наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов замкнуто в процессе поддержания устойчивой работы и обеспечивает эксплуатационную и конструкционную подвижность.

Эксплуатационная подвижность (ЭП) определяет возможность выполнения поставленной задачи по условиям эксплуатации, включающим в себя как характеристики местности, так и режимы нагружения машины.

Конструкционная подвижность (КП) связана с техническими характеристиками машины, которые в ходе эксплуатации могут существенно изменяться и приводить как к частичной потере подвижности, так и к ее полной потере. Изменения конструкционной подвижности связаны, с одной стороны, с износом узлов, систем и деталей машины, что приводит к отказам функционирования, а с другой стороны, с разрушениями конструкции, обусловленными «агрессивностью» внешней среды. Агрессивность внешней среды может проявляться весьма в разнообразных формах, однако чаще всего это механические воздействия: износные и ударные. Износы определяют отказную надежность машины, а ударные механические взаимодействия – могут носить как естественный характер вследствие контакта с местностью, так и искусственный при столкновениях с другими машинами и/или объектами внешней среды, а также повреждения, полученные в ходе боевых действий и террористических актов от воздействия средств поражения со стороны противника.

Подвижность (П) машины есть обобщенная функция эксплуатационной и конструкционной подвижностей.

$$П = f(ЭП; КП). \quad (25)$$

С позиции подвижности машины сложно ввести разграничения на активную и пассивную безопасности, так как эти понятия охватывают широкий круг задач, связанных с поддержанием устойчивого и безопасного движения, и не имеют четких границ разделения.

Более приемлемым является выделение подвижности по мобильности и живучести, которые дополняются задачей устранения критических ситуаций – динамической адаптивностью наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов к текущему состоянию машины и местности.



Рис. 7. Иерархия задач управления ТТМ [84]

Подвижность по мобильности (мобильность – от лат. mobilis – подвижный) - способность машины к быстрому передвижению, действию. По существу, этот термин относится к

понятию «движение» или более широко определяет «готовность к быстрой реакции, быстрому включению в деятельность». Это может быть, буквально, физическое движение или движение через некоторые «сферы», которые могут быть природные, климатические, дорожно-транспортные, технические, социальные. Термин «мобильность» обычно используется с уточняющими определениями. Например, тягово-скоростная мобильность, курсовая и траекторная мобильность. Все эти понятия объединяются в способность к движению в каких-либо условиях и решаются в трех основных задачах управления машиной: поддержание скорости движения, обеспечение курсовой ориентации, устранение критических ситуаций. Последняя задача управления осуществляет динамическую адаптивность машины к условиям эксплуатации и к собственному техническому состоянию. В англоязычной интерпретации теории подвижности этой задачи в соответствие ставится термин – agility (быстрота, ловкость, живость, резвость, проворство, сообразительность).

Оценка мобильности и построение алгоритмов управления автотракторной техникой выполняются на основе следующих критериев: 1) по запасу тягового усилия; 2) по балансу мощности; 3) по курсовой ориентации (управляемости и маневренности). При этом имеют место следующие решения задачи поддержания подвижности по мобильности: 1) концепция управления движением ($\lambda_p = \text{var}$, $\lambda_k = \text{const}$, $\lambda_s = \text{const}$) – для заданных условий эксплуатации и данной конструкционной конфигурации машины определяются оптимальные режимы управления движением; 2) концепция конструкции машины ($\lambda_k = \text{var}$, $\lambda_p = \text{const}$, $\lambda_s = \text{const}$) – для заданных условий эксплуатации и выбранных режимов управления движением определяется рациональная конструкционная конфигурация машины; 3) концепция условий эксплуатации ($\lambda_s = \text{var}$, $\lambda_k = \text{const}$, $\lambda_p = \text{const}$) – для данной конструкционной конфигурации машины и выбранных режимов управления движением определяются критические характеристики условий эксплуатации. Здесь λ_k – параметры машины, включая параметры двигателя; λ_s – характеристики эксплуатационных условий, включая свойства и параметры полотна пути; λ_p – параметры, характеризующие режимы движения как кинематические, так и силовые. Причем эти параметры могут рассматриваться как по отдельности, так и в виде каких-либо комплексных характеристик $\lambda \equiv \xi(\lambda_k, \lambda_s, \lambda_p)$.

Подвижность по живучести (жизнестойкость) – обеспечение управления состоянием машины, направленным на поддержание работоспособности наземных транспортных систем и транспортно-технологических комплексов к текущему состоянию машины и местности. При этом следует различать частичную и полную потерю работоспособности.

Жизнестойкость машин можно разделить на отказную, связанную с износами, и эксплуатационную, которая определяется функционированием машины в природно-климатической среде и социально-технической сфере деятельности. Таким образом, жизнестойкость может быть связана не только со свойствами местности, но с воздействиями от деятельности человека, например, техногенные катастрофы, военные действия, дорожно-транспортные происшествия, сверхтяжелые (ненормированные) режимы работы.

Жизнестойкость может быть разделена на структурную и функциональную составляющие. Если исследование структурной составляющей живучести в основном сводится к выявлению уязвимых мест в топологии системы и определению степени их влияния на целостность системы, то исследование функциональной составляющей живучести сводится к определению способности системы решать стоящие перед ней задачи при изменяющихся возможностях ее элементов.

Оценка жизнестойкости машины по отказной надежности проводится по критерию вероятности безотказной работы, а по эксплуатационной надежности – вероятности работоспособности в послеаварийном или пораженном состоянии.

Комплексная оценка подвижности наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов производится на основе системы критериев и ограничивающих условий:

- по мобильности

$$\Delta P_{\varphi}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } \Delta P_{\varphi}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda) \geq 0, \quad (26)$$

$$W_{\varphi}(\Phi_{\varphi}, \lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } W_{\varphi}(\Phi_{\varphi}, \lambda) \geq [W_f(\Phi_f, \lambda) + \Delta W(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda)], \quad (27)$$

$$\Phi_R(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } \Phi_R(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda) \leq 0; \quad (28)$$

- по живучести

$$R_{\text{он}}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda, t) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } R_{\text{он}}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda, t) \geq R_{\eta}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda, t); \quad (29)$$

$$R_{\text{эн}}(\Phi_{\text{ив}}, \lambda, t) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } R_{\text{эн}}(\Phi_{\text{ив}}, \lambda, t) \geq R_{\gamma}(\Phi_{\text{ив}}, \lambda, t). \quad (30)$$

Критерии построены в зависимости от параметров взаимодействия движителя с полотном пути Φ_{φ} , Φ_f и с учетом других характеристик $\lambda \equiv \xi(\lambda_k; \lambda_s; \lambda_p)$. Здесь ΔP_{φ} – запас силы тяги, W_{φ} – мощность реализуемая движителем по сцеплению, $\Delta W = W_{\text{эу}} - W_f$ – запас мощности по двигателю, $W_{\text{эу}}$ – мощность энергетической установки, W_f – мощность сопротивлений, Φ_R – обобщенная функция радиуса кривизны траектории движения, $R_{\text{он}}$ – вероятность безотказной работы, R_{η} – предельная вероятность безотказной работы техники в оптимальных (заданных для расчета) условиях работы и технологии изготовления машины; $R_{\text{эн}}$ – вероятности работоспособности в послеаварийном или пораженном состоянии, $\Phi_{\text{ив}}$ – обобщенная функция интенсивности аварийного или поражающего воздействия, R_{γ} – предельная вероятность работоспособности техники после заданной (в расчетах) интенсивности аварийного или поражающего воздействия, t – время работы или воздействия в соответствии с рассматриваемым типом надежности.

Представленную систему критериев (48)-(52) с ограничивающими условиями можно свести к более обоснованной системе целевых функций:

$$\Phi_{\varphi}(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}, \quad (31.a)$$

$$\Phi_f(\lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda}, \quad (31.б)$$

$$v(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}, \quad (31.в)$$

$$\rho(\lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda}, \quad (31.г)$$

$$R(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}. \quad (31.д)$$

Здесь Φ_{φ} – обобщенная функция сцепления движителя машины с материалом опорного основания; Φ_f – обобщенная функция сопротивления движению машины; v – скорость движения машины; $\rho = R_{\text{п}} / B$ – относительный радиус поворота, где B – колея машины, R – вероятность безотказной работоспособности машины, как функция $R(R_{\text{он}}; R_{\text{эн}})$ отказной и эксплуатационной надежности; λ – конструкционные (λ_k), эксплуатационные (λ_s) и режимные (λ_p) параметры и характеристики машины и процесса ее движения.

Решение задачи многокритериальной оптимизации представленной системой уравнений (31) подробно изложено в работе [2].

Для решения данной задачи, носящей многокритериальный характер, используем ме-

тод свертывания векторного критерия, учитывающего относительную важность частных критериев оптимальности с помощью построения скалярной функции (поливектора нулевого ранга) F , являющейся обобщенным критерием оптимальности. Рассмотрим функцию F с аддитивным критерием оптимальности [2]

$$F(w, \tilde{Q}) = \sum_{i=1}^5 w_i \tilde{Q}_i, \quad (32)$$

где $\tilde{Q} = \{\tilde{Q}_1, \tilde{Q}_2, \tilde{Q}_3, \tilde{Q}_4, \tilde{Q}_5\}$ – вектор частных критериев, $w = \{w_1, w_2, w_3, w_4, w_5\}$ – весовые коэффициенты относительной важности частных критериев, которым при решении предлагается дать точные численные оценки, причем $\sum_{i=1}^5 w_i = 1$.

Поставим в соответствие \tilde{Q}_1 нормированную функцию сцепления движителя с материалом опорного основания $(N_\phi(\lambda_k, \lambda_s, \lambda_p))$, \tilde{Q}_2 – нормированную функцию сопротивления движению машины $(N_f(\lambda_k, \lambda_s, \lambda_p))$, \tilde{Q}_3 – нормированную скорость движения машины $(N_v(\lambda_k, \lambda_s, \lambda_p))$, \tilde{Q}_4 – нормированный относительный радиус поворота $(N_p(\lambda_k, \lambda_s, \lambda_p))$, \tilde{Q}_5 – нормированную вероятность безотказной работы машины $(N_R(\lambda_k, \lambda_s, \lambda_p))$. Здесь, как и ранее, λ_k – параметры машины, включая и параметры движителя, λ_s – характеристики эксплуатационных условий, включая свойства и параметры полотна пути, λ_p – параметры, характеризующие режимы движения как кинематические, так и силовые.

При постановке проблемы подвижности автотракторной техники в работе [2] были представлены три решения задачи ее поддержания:

- 1) концепция управления движением ($\lambda_k = \text{const}, \lambda_s = \text{const}, \lambda_p = \text{var}$);
- 2) концепция конструкции машины ($\lambda_k = \text{var}, \lambda_s = \text{const}, \lambda_p = \text{const}$);
- 3) концепция условий эксплуатации ($\lambda_k = \text{const}, \lambda_s = \text{var}, \lambda_p = \text{const}$).

Решения имеют непосредственное отношение лишь к ограниченным задачам поддержания подвижности автотракторной техники и созданных на ее основе транспортно-технологических машин. Однако имеют место и другие варианты решения проблемы поддержания подвижности, которые определяются функцией «var-const» по отношению к параметрам $\lambda_k, \lambda_s, \lambda_p$. При этом наиболее интересным является комплексное решение задачи подвижности, когда $\lambda_k = \text{var}, \lambda_s = \text{var}, \lambda_p = \text{var}$, то есть оценка конкурентоспособности существующей, модифицируемой или вновь создаваемой автотракторной техники. Такая постановка задачи многокритериальной оптимизации и методы ее решения рассматриваются в третьей главе книги [2] и разделе данной статьи, посвященной оценке конкурентоспособности автотракторной техники.

Все структурные единицы представленной на рис. 7 иерархии включают в себя общую задачу – устранение критических ситуаций. Примерами критических ситуаций при движении автомобиля могут служить следующие: потеря управляемости и устойчивости; опрокидывание по критической скорости в повороте; потеря проходимости машины. В рамках данной статьи наибольший интерес представляет рассмотрение задачи поддержания проходимости транспортно-технологической машины.

Одним из наиболее тяжелых режимов работы транспортных средств является передвижение по снегу [95]. Управление вездеходными транспортными средствами в условиях их передвижения по заснеженной местности имеет ряд характерных особенностей: снег – поверхность движения с очень низкой несущей способностью; в условиях снежного бездорожья постоянно встречаются препятствия, превышающие высоту просвета машины; слабый грунт на спусках; большое количество крутых уклонов, повышающих вероятность опрокидывания [96].

Значительную часть способности машины выполнять поставленную задачу независимо от условий движения можно обеспечить за счет рациональной конструкции машины (выбора двигателя, трансмиссии, двигателя и т.д.).

Однако для передвижения по труднопроходимой местности при резком изменении условий движения обеспечить подвижность машины можно только путем своевременного изменения основных режимов работы отдельных агрегатов и систем мобильного шасси. Таким образом, достижение высокой мобильности транспортных средств, при передвижении в условиях бездорожья обеспечивают системы поддержания динамической адаптивной подвижности, базовый перечень которых представлен на рис. 7 в задаче устранения критических ситуаций.

Способность машины двигаться по слабым грунтам зависит от разности между силой тяги и сопротивлением движению. Системы адаптивной подвижности поддерживают буксование колес в режиме тяги на уровне, обеспечивающем максимальное значение коэффициента сцепления в продольном направлении. На основании сигналов датчиков определяются следующие характеристики: скорость движения; величина буксования двигателей; величину осадки и интенсивность погружения ТТМ; значения углов крена и дифферента шасси.

Спидометр как прибор, кинематически связанный с трансмиссией, обладает низкой точностью измерений действительной скорости перемещения ТТМ при движении вне дорог, так как не учитываются эластичность колес, их пробуксовка и отрыв от опорной поверхности. Спутниковые системы позиционирования также не дают желаемой точности. Наиболее распространенными средствами определения скорости ТТМ являются инерциальные навигационные системы на основе акселерометров или гироскопов. Перспективными считаются измерители, в основу которых положен доплеровский эффект, и системы, использующие информацию не об окружающей среде, а о динамике колебательных процессов самого транспортного средства (корреляционно-экстремальные системы). Для определения величины буксования также определяются угловые скорости колес, снимаемые индуктивными датчиками.

Для определения осадки используются приборы, регистрирующие изменение частоты радиосигнала, отраженного от опорной поверхности движения – доплеровские радары; и системы, использующие совокупность акселерометров на корпусе и колесах ТТМ. В ряде случаев можно использовать контактные датчики, выходной сигнал которых формируется в результате прямого взаимодействия с поверхностью движения.

На основании полученной информации системы адаптивной подвижности нужным образом регулируют крутящий момент на колесах. Регулирование крутящего момента на колесах может осуществляться подтормаживанием колес или регулированием крутящего момента двигателя. Для обеспечения равномерного распределения динамической нагрузки на колеса при необходимости корректируются значения углов крена и дифферента шасси ТТМ путем изменения дорожного просвета и жесткости отдельных упругих элементов.

Хорошо зарекомендовала себя централизованная система регулирования давления воздуха в шинах. В настоящее время она широко применяется как средство повышения опорной проходимости. К недостаткам данной системы можно отнести низкую скорость работы, в связи с чем автоматизированное управление системой неэффективно.

Традиционным способом повышения проходимости ТТМ в самых тяжелых условиях эксплуатации является блокировка дифференциальных механизмов трансмиссии – как межосевых, так и межколесных. Данный способ является трудносовместимым со способами, предложенными ранее (кроме системы регулирования давления в шинах). Например, в случае совмещения полностью блокируемой трансмиссии с автоматической системой распределения тормозных усилий возникает значительная циркуляция мощности, отрицательно сказывающаяся на ресурсе агрегатов трансмиссии. Однако в ряде случаев блокировка межосевого дифференциала является оправданной, так как существенно упрощает конструкцию исполнительных устройств системы устранения критических ситуаций.

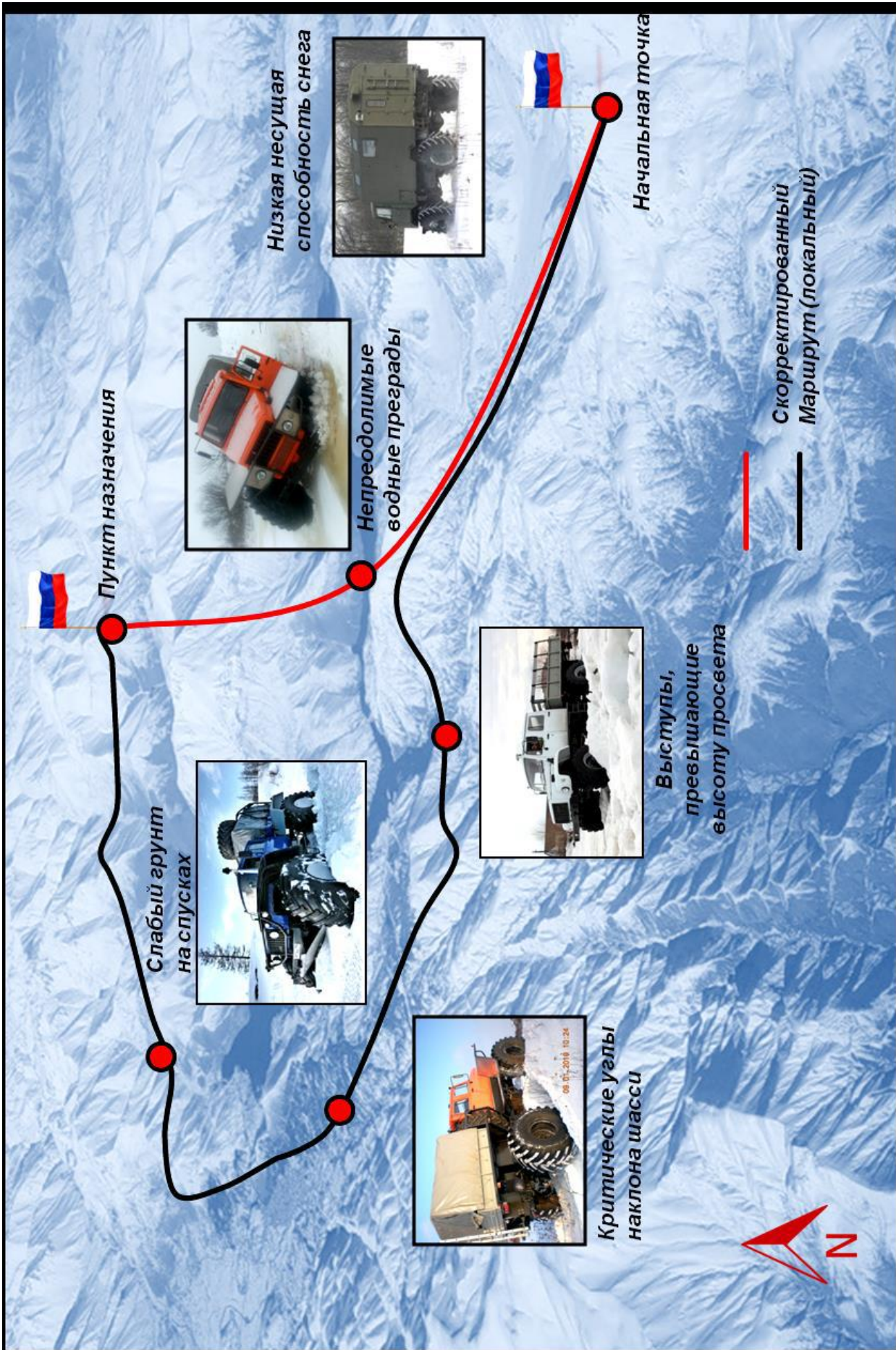


Рис. 8. Особенности движения транспортных средств в условиях заснеженной местности

Главная особенность функционирования внедорожных машин заключается в том, что последовательность их действий, необходимых для достижения цели, как правило, не может быть заранее определена, поскольку информация о будущих состояниях среды априорно недоступна. Формирование траекторий движения осуществляется следующим образом: анализ карт подвижности [90] позволяет предварительно выделить запрещенные для движения участки и наметить оптимальный для данного рельефа глобальный маршрут из исходной точки в конечную (рис. 8).

Но даже идеально проложенный маршрут бесполезен, если машина не способна определить свое местоположение и направление дальнейшего движения. Навигационная система ТТМ получает сигналы от космических аппаратов глобальной навигационной спутниковой системы, которые позволяют его электронному блоку управления вычислять точное местоположение. При блокировании сигналов навигационной системы положение машины определяется собственными средствами отслеживания положения (инерциальные навигационные системы и т.д.). Намеченную по картам глобальную траекторию можно считать оптимальной только условно, поскольку на трассе движения могут встретиться отдельные непреодолимые препятствия. Таким образом, при управлении вездеходным транспортным средством приходится решать редко встречающуюся в управлении мобильными системами задачу по идентификации и объезду непреодолимых препятствий и участков местности. Поэтому для машин, передвигающихся в условиях заснеженной местности, перспективной является разработка и создание акустических систем прогнозирования конфигурации рельефа подстилающего слоя перед машиной, а также бесконтактного определения физико-механических свойств и толщины снежного покрова.

Рассмотренный критерий подвижности, а также критерии проходимости и эффективности способен объединить критерий конкурентоспособности.

Критерии оценки конкурентоспособности автотракторной и вездеходной техники

Существует достаточно много методов для оценки конкурентоспособности изделий табл.4. Но для качественной и количественной оценки конкурентоспособности, в том числе и подвижности автотракторной техники можно предложить ряд методов: построения экспертной системы, нахождения регрессии, квалиметрии и многокритериальной оптимизации [2]. При этом последний метод направлен не столько на оценку качества существующей конструкции, сколько на выбор рациональных технических, технологических, эксплуатационных и потребительских параметров проектируемой машины. Этот метод в отличие от первых трех может быть совмещен с системой автоматического проектирования, а оценку качества существующей машины от других можно производить как отклонение их от оптимального эталона, что в целом также делается в других методах. Однако другие методы не позволяют производить математически точный выбор рациональных параметров проектируемой автотракторной техники.

Под конкурентоспособностью автотракторной техники понимается такое комплексное свойство конкретной машины, определяющее ее качество в соответствии с фактическими значениями технических, технологических, эксплуатационных и потребительских показателей, которое характеризует ее способность конкурировать с аналогичными образцами машин, выпускаемых (разрабатываемых) конкурирующими фирмами.

Методика оценки конкурентоспособности наземных транспортно-технологических машин (ТТМ) сводится к следующему: 1) раздробить оценочные характеристики до числовых показателей; 2) выразить оценочные показатели в безразмерной форме; 3) принять условие, что рост показателя определяет повышение эффективности, вследствие чего ряд показателей должен быть либо взят как обратная величина, либо как результат от вычитания из единицы; 4) повторяющиеся величины должны учитываться столько раз, сколько они встречаются, что определит их ранжировку (весовую значимость); 5) все оценки должны браться по модулю; 6) число оценочных характеристик для сравниваемых различных типов ТТМ

должно быть одинаково. Наибольшую трудность вызывает оценка эстетических показателей. Она может быть проведена на основе вероятностных оценок по результатам опросов потребителя или экспертов. Вероятностные оценки могут быть положены в основу бальной характеристики эстетичности машины. Однако нельзя пренебрегать общеизвестным утверждением, что «на вкус и цвет товарищей нет», и это самая сложная задача. С этой точки зрения наиболее подходящим для оценки конкурентоспособности автотракторной техники является метод построения экспертных систем.

Таблица 4

Методы оценки конкурентоспособности [93]

Признак классификации методов оценки конкурентоспособности	Группировка методов оценки конкурентоспособности
1. Номенклатура критериев	1. Прямые методы 2. Косвенные методы
2. Цель и стадия оценки (исходя из жизненного цикла продукции)	1. Методы, применяемые на стадиях проектирования и изготовления продукции 2. Методы, применяемые на стадиях реализации и эксплуатации
3. Форма представления данных	1. Графические методы 2. Матричные методы 3. Расчетные методы 4. Комбинированные методы - расчетно-матричные, расчетно-графические

Методы оценки конкурентоспособности автотракторной техники (построения экспертной системы, нахождения регрессии, квалиметрия) обладают множеством недостатков, которые снижают практическую ценность их использования. К наиболее существенным можно отнести следующие: во-первых, метод нахождения регрессии не позволяет оценить раздельно влияния тех или иных факторов на качество машины по конкурентоспособности; во-вторых, метод квалиметрии абсолютно субъективен; в-третьих, имея даже мощную персональную вычислительную машину и используя программный язык высокого уровня, легко написать программу, которая будет проявлять основные черты, присущие экспертным системам, правда в так называемом «демонстрационном варианте» и при ограниченной базе данных никогда не сможет заменить искусного специалиста в области оценки конкурентоспособности автотракторной техники; в-четвертых, все методы требуют сбора статистических данных и проведения расчетов по определению количественной оценки эталонной машины. В связи с изложенным применение многокритериальной оптимизации по определению характеристик конкурентоспособной машины может оказаться наиболее целесообразным. В отличие от рассмотренных методов данный подход обладает рядом преимуществ и, в первую очередь, позволяет в динамическом диалоге «конструктор – проектируемый объект» определять рациональные характеристики автотракторной техники, тогда как методы отыскания регрессии и квалиметрии позволяют изучать лишь конкретно заданную конструкцию машины. При этом многокритериальная оценка качества автотракторной техники санкционирует выход на совершенно новый уровень методологического решения данной проблемы, который состоит в отыскании точки бифуркации, где конкурентоспособность рассматриваемой машины становится равновероятностной при различных сочетаниях входных параметров λ . Это как нельзя лучше отвечает *субъективной потребительской оценке* качества автотракторной техники, то есть «в глазах» разных по социальным и психофизиологическим качествам людей разные по классу, назначению и конструкции машины становятся конкурентоспособными.

Все показатели конкурентоспособности автотракторной техники, как и в задаче оценки ее подвижности, зависят от конструкционных параметров машины λ_k , режимных характеристик ее работы λ_p и обобщенных функций взаимодействия (Φ_ϕ , Φ_f) двигателя и рабочих органов машины с местностью, которые определим как совокупность λ_ε . В дополнение к названным входным величинам необходимо ввести показатели, определяющие оценочные характеристики по технологичности изготовления, обслуживания и ремонта автотракторной техники – λ_t , а также систему, характеризующую индивидуальные социальные и психофизиологические свойства потребителя – λ_π . При этом $\lambda = \xi(\lambda_k, \lambda_\varepsilon, \lambda_p, \lambda_t, \lambda_\pi)$, а задача многокритериальной оценки конкурентоспособности автотракторной техники, то есть поиск λ^{opt} , имеет смысл лишь в случае, когда $\lambda_k = \text{var}$; $\lambda_\varepsilon = \text{var}$; $\lambda_p = \text{var}$; $\lambda_t = \text{var}$; $\lambda_\pi = \text{var}$. Величины λ_k , λ_p , λ_ε , λ_t , λ_π являются поливекторами первого ранга: $\lambda_k = \lambda_k \{ \lambda_{k1}, \lambda_{k2}, \dots, \lambda_{kq} \}$; $\lambda_p = \lambda_p \{ \lambda_{p1}, \lambda_{p2}, \dots, \lambda_{pr} \}$; $\lambda_\varepsilon = \lambda_\varepsilon \{ \lambda_{\varepsilon1}, \lambda_{\varepsilon2}, \dots, \lambda_{\varepsilon t} \}$; $\lambda_t = \lambda_t \{ \lambda_{t1}, \lambda_{t2}, \dots, \lambda_{tu} \}$; $\lambda_\pi = \lambda_\pi \{ \lambda_{\pi1}, \lambda_{\pi2}, \dots, \lambda_{\pi s} \}$.

В связи с чем множество допустимых значений λ может быть представлено как поливектор второго ранга Λ с компонентами Λ_{ij} , где $i = k, p, \varepsilon, t, \pi$ или $i = 1, 2, \dots, 5$, тогда как $j = 1, 2, \dots, g$. При этом должны выполняться некоторые условия формирования матрицы числовых значений компонент поливектора второго ранга Λ , а точнее, например, если при $i = k$ индекс $j = 1, 2, \dots, q, q+1, \dots, g-1, g$ и $q < g$, то элементы $\Lambda_{kj} = 0$ для $j = q+1, q+2, \dots, g-1, g$. Аналогично и при других значениях индекса i (p, ε, t, π) в случаях, когда $r < g$, $t < g$, $u < g$ и $s < g$ соответственно.

Все подмножество оценочных показателей $A(|A|=m) \subset V(|V|=n)$ можно разделить на ряд дополнительных подмножеств, которые далее будем именовать *группами элементарных оценочных показателей*. Из множества $A(|A|=m)$ выделим четыре подмножества определяющих группы оценочных показателей:

$$\text{группа 1 – } \text{технические} \quad A1(A1 \subset A, |A1| = m_1); \quad (33, \text{а})$$

$$\text{группа 2 – } \text{технологические} \quad A2(A2 \subset A, |A2| = m_2); \quad (33, \text{б})$$

$$\text{группа 3 – } \text{эксплуатационные} \quad A3(A3 \subset A, |A3| = m_3); \quad (33, \text{в})$$

$$\text{группа 4 – } \text{экономические (стоимостные)} \quad A4(A4 \subset A, |A4| = m_4). \quad (33, \text{г})$$

Здесь $m = m_1 + m_2 + m_3 + m_4$.

Поставим в соответствие каждой точке $a1_i \in A1$ множества $A1(|A1|=m_1)$ *технические оценки* качества машины $\{ \Phi_{A1}(a1_i) \}_i$ ($i = 1, 2, \dots, m_1$); точкам $a2_j \in A2$ множества $A2(|A2|=m_2)$ – *технологические оценки* качества машины $\{ \Phi_{A2}(a2_j) \}_j$ ($j = 1, 2, \dots, m_2$); точкам $a3_k \in A3$ множества $A3(|A3|=m_3)$ – *эксплуатационные оценки* качества машины $\{ \Phi_{A3}(a3_k) \}_k$ ($k = 1, 2, \dots, m_3$); точкам $a4_l \in A4$ множества $A4(|A4|=m_4)$ – *экономические (стоимостные) оценки* качества машины $\{ \Phi_{A4}(a4_l) \}_l$ ($l = 1, 2, \dots, m_4$). Здесь $a1_i = \varsigma_i(\lambda)$, $a2_j = \vartheta_j(\lambda)$, $a3_k = \eta_k(\lambda)$, $a4_l = \zeta_l(\lambda)$, причем $\lambda = \xi(\lambda_k, \lambda_\varepsilon, \lambda_p, \lambda_t, \lambda_\pi)$ при $\lambda_k = \text{var}$; $\lambda_\varepsilon = \text{var}$; $\lambda_p = \text{var}$; $\lambda_t = \text{var}$; $\lambda_\pi = \text{var}$.

Многокритериальная задача оценки конкурентоспособности автотракторной техники по квазипростым (элементарным) показателям с учетом индивидуальных предпочтений и недостатка информации в области оценки качества субъективных характеристик заключается в отыскании такого поливектора первого ранга $\lambda^{(0)} \in \Lambda$ и соответствующих значений $\{\Phi_A [a_i^{(0)}(\lambda^{(0)})]\}_i^{(0)}$ ($i = 1, 2, \dots, m$), для которых при всех $\lambda \in \Lambda$ имеет место

$$\{\Phi_A [a_i^{(0)}(\lambda^{(0)})]\}_i^{(0)} = \text{extr}_{\lambda \in \Lambda} \{\Phi_A [a_i(\lambda)]\}_i, \quad (i = 1, 2, \dots, m). \quad (34)$$

При этом $\lambda^{(0)} \equiv \lambda^{\text{opt}}$ – есть оптимальное решение из множества допустимых решений Λ , а значения $\{\Phi_A [a_i^{(0)}(\lambda^{(0)})]\}_i^{(0)}$ ($i = 1, 2, \dots, m$) – оптимумы оценочных показателей конкурентоспособности автотракторной техники.

Для упрощения записи постановки задачи введем систему переобозначений, в которой обозначениям оценочных показателей $\{\Phi_A [a_i(\lambda)]\}_i$ поставим в соответствие обозначения точек a_i множества A ($|A| = m$) как функций параметров $\lambda = \xi(\lambda_k, \lambda_3, \lambda_p, \lambda_T, \lambda_\Pi)$, то есть

$$\{\Phi_A [a_i(\lambda)]\}_i \equiv a_i(\lambda), \quad (35)$$

Обеспечивая конкретизацию постановки задачи оптимизации параметров конкурентоспособности автотракторной техники, разобьем множество A ($|A| = m$), включающее в себя оценочные группы по техническим, технологическим, эксплуатационным и экономическим показателям, на два подмножества B ($B \subset A, |B| = k$), C ($C \subset A, |C| = l$) при условии, что $k + l = m$, таким образом, чтобы первое подмножество содержало в себе все оценки качества, которые необходимо максимизировать, а второе – которые минимизировать. Оценочные показатели, объединенные в подмножествах B и C , определим как

$$b_q(\lambda) \in A, \quad (q = 1, 2, \dots, k); \quad (36, \text{а})$$

$$c_p(\lambda) \in A, \quad (p = k + 1, k + 2, \dots, m). \quad (36, \text{б})$$

Тогда математическая постановка задачи оптимизации оценочных параметров конкурентоспособности автотракторной техники будет иметь вид:

$$a_i(\lambda) \rightarrow \text{extr}_{\lambda \in \Lambda}, \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad \text{или} \quad \begin{cases} b_q(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}, & (q = 1, 2, \dots, k), \\ c_p(\lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda}, & (p = k + 1, k + 2, \dots, m). \end{cases} \quad (37)$$

Здесь $a_i(\lambda) \in A$; $\lambda = \xi(\lambda_k, \lambda_3, \lambda_p, \lambda_T, \lambda_\Pi)$ при $\lambda_k = \text{var}$; $\lambda_3 = \text{var}$; $\lambda_p = \text{var}$; $\lambda_T = \text{var}$; $\lambda_\Pi = \text{var}$. При этом как максимизируемое $b_q(\lambda)$, так и минимизируемое $c_p(\lambda)$, подмножества содержат достаточно большое количество величин, а все стоимостные экономические показатели относятся к подмножеству $c_p(\lambda)$.

Для решения данной задачи используется метод свертывания векторного критерия [68], учитывающий относительную важность частных критериев оптимальности с помощью построения скалярной функции (поливектора нулевого ранга) F . Рассмотрим функцию F с аддитивным критерием оптимальности:

$$F(w, \tilde{Q}) = \sum_{i=1}^m w_i \tilde{Q}_i, \quad (38)$$

где $\tilde{Q} = \{\tilde{Q}_1, \dots, \tilde{Q}_m\}$ – вектор частных критериев; \tilde{Q}_1 – нормированная функция $a_1(\lambda)$, ...; \tilde{Q}_m – нормированная функция $a_m(\lambda)$.

Здесь $W = \{w_1, \dots, w_m\}$ – весовые коэффициенты относительной важности частных

критериев, причем $\sum_{i=1}^m w_i = 1$. При малом количестве критериев оптимальности весовые коэффициенты имеют вполне удобную для расчетов величину. Однако с увеличением их числа значимость весовых коэффициентов будет уменьшаться, что становится особо неудобным при компьютерных операциях округления. В этих случаях целесообразно $\sum_{i=1}^m w_i = K$, где K – параметр масштабирования весовых коэффициентов, который может принимать значения в зависимости от числа частных критериев m .

Пусть весовые коэффициенты вычисляются как $w_i = w_i \{K \Phi_w\}$, ($i=1,2,\dots,m$), где $K \Phi_w = \Phi_w \{K a_i^+(\lambda^+), K a_i^-(\lambda^-), K a_i(\lambda_j), m\}$. Методики их расчета подробно изложены в первой главе книги [68]. Здесь $a_i^+(\lambda^+) = \max_{\lambda_j \in \Lambda} a_i(\lambda)$, $a_i^-(\lambda^-) = \min_{\lambda_j \in \Lambda} a_i(\lambda)$, где λ_j – текущее значение вектора λ ; Λ – множество значений вектора λ ; λ^+ – значение вектора λ , при котором $a_i(\lambda)$ имеет максимальное значение; λ^- – значение вектора λ , при котором $a_i(\lambda)$ имеет минимальное значение. Тогда можно предложить методику выбора параметра масштабирования. Если $m < 10$, то $K=1$. В случае $10 \leq m < 50$, то $K=10$. При $50 \leq m \leq 100$, $K=100$, а если $m > 100$, то $K=1000$.

Для нормирования частных критериев примем шкалу измерения $[\alpha, \beta]$, причем, учитывая вышепредложенную математическую постановку задачи оптимизации оценочных параметров конкурентоспособности автотракторной техники, для $b_q(\lambda)$, ($q=1,2,\dots,k$): $[\alpha, \beta] = [1, 2]$, а для $c_p(\lambda)$, ($p=k+1, k+2,\dots,m$): $[\alpha, \beta] = [2, 1]$.

В результате нормирования $b_q(\lambda)$, ($q=1,2,\dots,k$) получаем следующую формулу:

$$N_{b_q}(\lambda_j) = \frac{b_q(\lambda_j) - b_q^-(\lambda^-)}{b_q^+(\lambda^+) - b_q^-(\lambda^-)} (\beta - \alpha) + \alpha, \quad (39)$$

где $N_{b_q}(\lambda_j)$ – нормированное значение функции $b_q(\lambda)$, ($q=1,2,\dots,k$). При этом функции $b_q^+(\lambda^+)$ и $b_q^-(\lambda^-)$ имеют следующий смысл:

$$b_q^+(\lambda^+) = \max_{\lambda_j \in \Lambda} b_q(\lambda), \quad (q=1,2,\dots,k); \quad (40, \text{а})$$

$$b_q^-(\lambda^-) = \min_{\lambda_j \in \Lambda} b_q(\lambda), \quad (q=1,2,\dots,k), \quad (40, \text{б})$$

где λ_j – текущее значение вектора λ ; Λ – множество значений вектора λ ; λ^+ – значение вектора λ , при котором $b_q(\lambda)$ имеет максимальное значение; λ^- – значение вектора λ , при котором $b_q(\lambda)$ имеет минимальное значение.

Для нормирования $c_p(\lambda)$, ($p=k+1, k+2,\dots,m$) получаем следующую формулу:

$$N_{c_p}(\lambda_j) = \frac{c_p(\lambda_j) - c_p^-(\lambda^-)}{c_p^+(\lambda^+) - c_p^-(\lambda^-)} (\beta - \alpha) + \alpha, \quad (41)$$

где $N_{c_p}(\lambda_j)$ – нормированное значение функции $c_p(\lambda)$, ($p=k+1, k+2,\dots,m$). При этом функции $c_p^+(\lambda^+)$ и $c_p^-(\lambda^-)$ имеют следующий смысл:

$$c_p^+(\lambda^+) = \max_{\lambda_j \in \Lambda} c_p(\lambda), \quad (p=k+1, k+2,\dots,m); \quad (42, \text{а})$$

$$c_p^-(\lambda^-) = \min_{\lambda_j \in \Lambda} c_p(\lambda), \quad (p=k+1, k+2,\dots,m), \quad (42, \text{б})$$

где λ^+ – значение вектора λ , при котором $c_p(\lambda)$ имеет максимальное значение; λ^- – значение вектора λ , при котором $c_p(\lambda)$ имеет минимальное значение.

В результате задача сводится к решению однокритериальной задачи оптимизации:

$$F(w, \lambda^{opt}) = \max_{\lambda_j \in \Lambda} F(w, \lambda_j) = \max_{\lambda_j \in \Lambda} \left\{ \sum_{q=1}^k w_q N_{bq}(\lambda_j) + \sum_{p=k+1}^m w_p N_{cp}(\lambda_j) \right\}. \quad (43)$$

Следует вспомнить, что $\lambda = \xi(\lambda_k, \lambda_3, \lambda_p, \lambda_T, \lambda_{II})$, поэтому оптимизацию с помощью обобщенного критерия оптимальности можно производить либо по любому из компонент вектора λ (например, $\lambda_k = \text{var}$; $\lambda_3 = \text{const}$; $\lambda_p = \text{const}$; $\lambda_T = \text{const}$; $\lambda_{II} = \text{const}$), либо по всем компонентам сразу ($\lambda_k = \text{var}$; $\lambda_3 = \text{var}$; $\lambda_p = \text{var}$; $\lambda_T = \text{var}$; $\lambda_{II} = \text{var}$).

Решение данной задачи многокритериальной оценки транспортно-технологических машин на базе автотракторной техники более подробно с примерами излагается в работе [2].

Задача многокритериальной оценки конкурентоспособности автотракторной техники есть поиск λ^{opt} , который имеет смысл лишь в случае, когда $\lambda_k = \text{var}$; $\lambda_3 = \text{var}$; $\lambda_p = \text{var}$; $\lambda_T = \text{var}$; $\lambda_{II} = \text{var}$. При этом определяются и рациональные значения компонент поливектора первого ранга $\lambda^{opt} = \xi^*(\lambda_k^{rac}, \lambda_p^{rac}, \lambda_3^{rac}, \lambda_T^{rac}, \lambda_{II}^{rac})$. Компоненты этого поливектора определяют непосредственную связь между конкурентоспособностью и концепцией автотракторной техники. Ключом к созданию конкурентоспособного образца автотракторной техники является правильно определенная (разработанная) концепция машины.

На рис. 9 показана структурно-функциональная модель автотракторного средства, а на рис. 10 – дерево оценок конкурентоспособности транспортно-технологических машин. Используя схемы, представленную на рис. 9, и уравнение (37) как исходную предпосылку для построения экспресс-модели конкурентоспособности, можно записать систему целевых функций для каждого блока машины, определить ее конкурентоспособность.

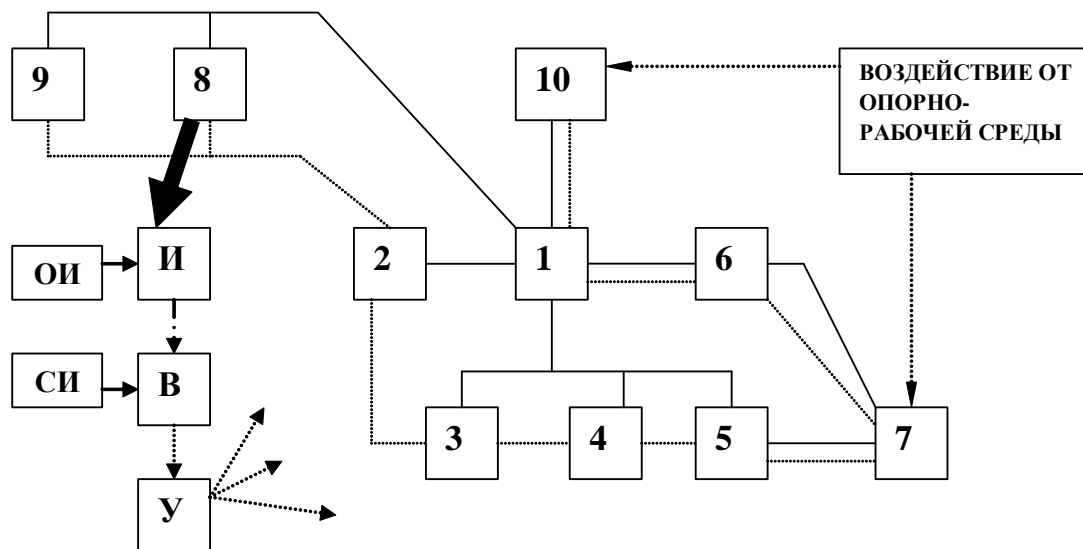


Рис. 9. Функциональная схема автотракторной техники:

ОИ – объективная информация; СИ – субъективная информация; И – система обработки и отображения информации; В – водитель-оператор; У – устройства управления (входят в различные системы); сплошная линия – конструкционные связи, пунктирная линия – энергетические и силовые связи; 1 – остов, 2 – энергетическая установка, 3 – силовая преобразующе-передающая система, 4 – тормозная система, 5 – система управления курсовым движением, 6 – система подвески, 7 – движитель, 8 – электрическое и электронное оборудование, 9 – система безопасности и комфорта, 10 – система технологического и вспомогательного оборудования

ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН НА БАЗЕ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

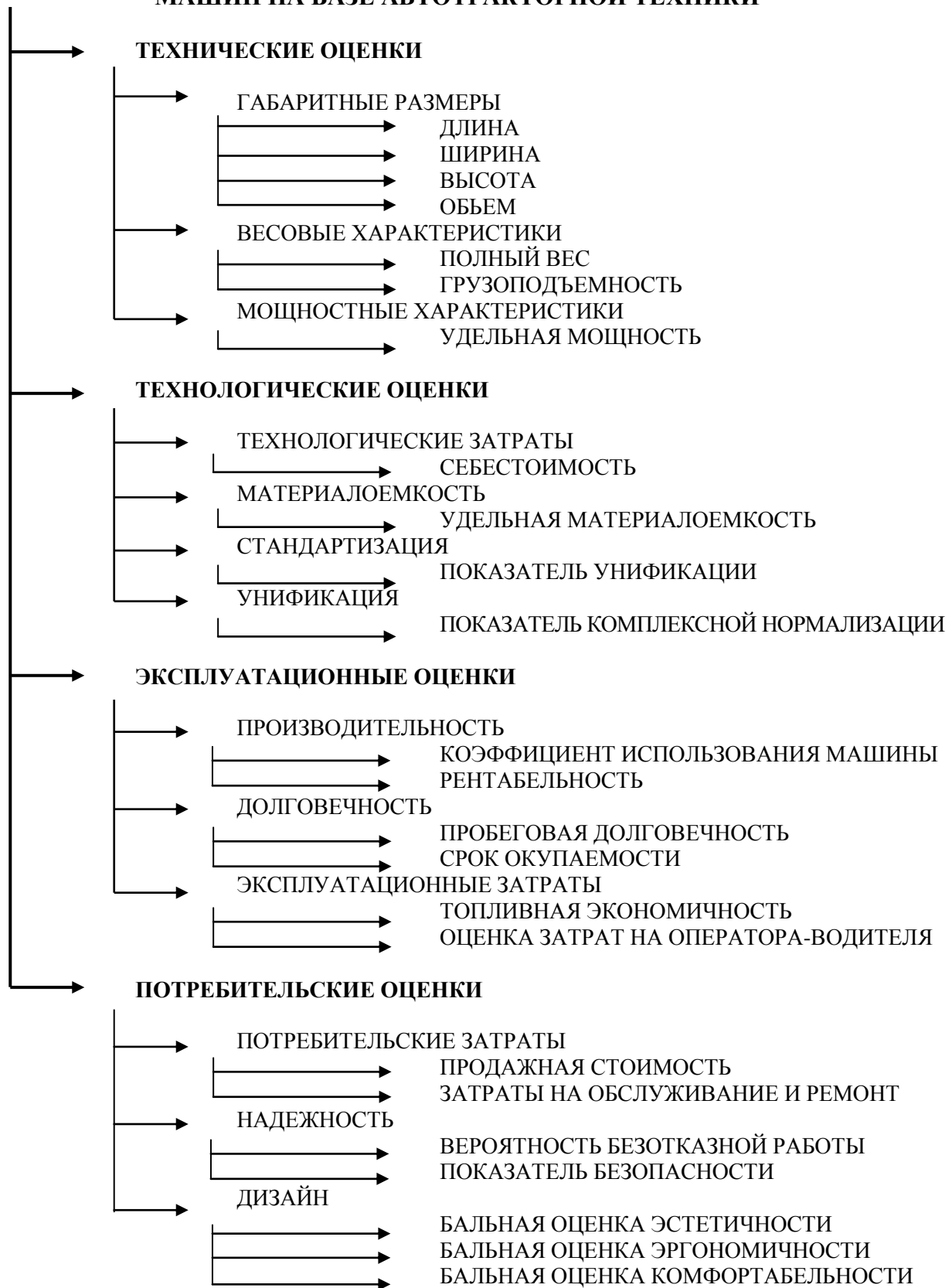


Рис. 10. Дерево оценок конкурентоспособности транспортно-технологических машин

Для записи таких функций необходимо из дерева оценочных показателей (рис.10) выбрать наиболее важные характеристики для данного конструкционного блока машины, которые характеризуют конструкцию, эксплуатацию, режим работы, технологичность и потребительские свойства (R – надежность; C – себестоимость; Ξ – экономичность: производительность и рентабельность; Π – психофизиологические показатели).

Тогда экспресс-модель конкурентоспособности машины с разбивкой по конструкционным блокам в общем виде может быть представлена следующей системой уравнений:

$$a_{ki}(\lambda) \rightarrow \text{extr}; \quad (44, \text{а})$$

$$a_{\varepsilon i}(\lambda) \rightarrow \text{extr}; \quad (44, \text{б})$$

$$a_{pi}(\lambda) \rightarrow \text{extr}; \quad (44, \text{в})$$

$$a_{Ti}(\lambda) \rightarrow \text{extr}; \quad (44, \text{г})$$

$$a_{Ri}(\lambda) \rightarrow \text{max}; \quad (44, \text{д})$$

$$a_{Ci}(\lambda) \rightarrow \text{min}; \quad (44, \text{е})$$

$$\Delta P_{\varphi}(\lambda) \rightarrow \text{max}; \quad (44, \text{ж})$$

$$v(\lambda) \rightarrow \text{max}; \quad (44, \text{з})$$

$$\Xi(\lambda) \rightarrow \text{extr}; \quad (44, \text{и})$$

$$\Pi(\lambda) \rightarrow \text{extr}. \quad (44, \text{к})$$

Здесь $a_i(\lambda) \in A$, ($i=1,2,\dots,11$); $\lambda = \xi(\lambda_k, \lambda_{\varepsilon}, \lambda_p, \lambda_T, \lambda_{\Pi})$ при $\lambda_k = \text{var}$, $\lambda_{\varepsilon} = \text{var}$, $\lambda_p = \text{var}$, $\lambda_T = \text{var}$, $\lambda_{\Pi} = \text{var}$. Целевые функции (44.ж)–(44.к) относятся к машине в целом.

Обобщенная целевая функция многокритериальной оптимизации, представляется в виде аддитивного критерия с весовыми коэффициентами и нормированными функциями частных критериев:

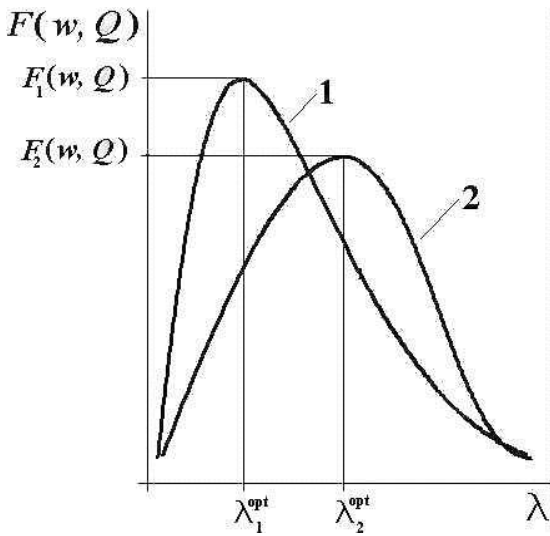
$$F(w, Q) = \text{extr}_{\lambda \in \Lambda} \left\{ w_1 N_{\varphi}(\lambda) + w_2 N_v(\lambda) + w_3 N_p(\lambda) + w_4 N_{\Xi}(\lambda) + \sum_{i=1}^{11} [w_{ki} N_{ki}(\lambda) + w_{\varepsilon i} N_{\varepsilon i}(\lambda) + w_{pi} N_{pi}(\lambda) + w_{Ti} N_{Ti}(\lambda) + w_{Ri} N_{Ri}(\lambda) + w_{Ci} N_{Ci}(\lambda)] \right\}. \quad (45)$$

Условная сравнительная концептуальная характеристика для двух машин, выполненная на основе многокритериальной оптимизации, представлена на рис. 11.

Из рис. 11 видно, что наилучшей является первая машина, у которой $F_1(w, Q) > F_2(w, Q)$ и, следовательно, характеристики, объединенные в совокупности λ_1^{opt} , предпочтительней чем λ_2^{opt} . Однако данные зависимости не могут дать четкого представления, какие же факторы повлияли на качество разрабатываемой концепции. Таким образом, целесообразно построить изменение данных зависимостей от совокупностей $\lambda_k, \lambda_{\varepsilon}, \lambda_p, \lambda_T, \lambda_{\Pi}$, а далее от конкретных элементарных параметров $\lambda_{ki}, \lambda_{\varepsilon i}, \lambda_{pi}, \lambda_{Ti}, \lambda_{\Pi i}$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$).

Рассматриваемые показатели конкурентоспособности можно применить не только к комплектному транспортному средству, но и к отдельным его составным частям, например, к движителю. Поэтому применим параметры $\lambda_k, \lambda_{\varepsilon}, \lambda_p, \lambda_T$ к колесному движителю. Первым из факторов, влияющих на конкурентоспособность, является его конструкция, так же, как и с комплектным ТС, обозначим его $\lambda_{к.кд}$. Режимные характеристики работы $\lambda_{р.кд}$ и значения

обобщенных функций взаимодействия колеса (Φ_ϕ , Φ_f) по аналогии обозначим λ_3 . Колесный движитель также можно оценивать с помощью характеристик по технологичности изготовления, обслуживания и ремонта - $\lambda_{т.кд.}$. При этом $\lambda = \xi(\lambda_k, \lambda_3, \lambda_p, \lambda_T)$, а задача многокритериальной оценки конкурентоспособности колесного движителя, то есть поиск λ^{opt} , имеет смысл лишь в случае, когда $\lambda_k = var$; $\lambda_3 = var$; $\lambda_p = var$; $\lambda_T = var$.

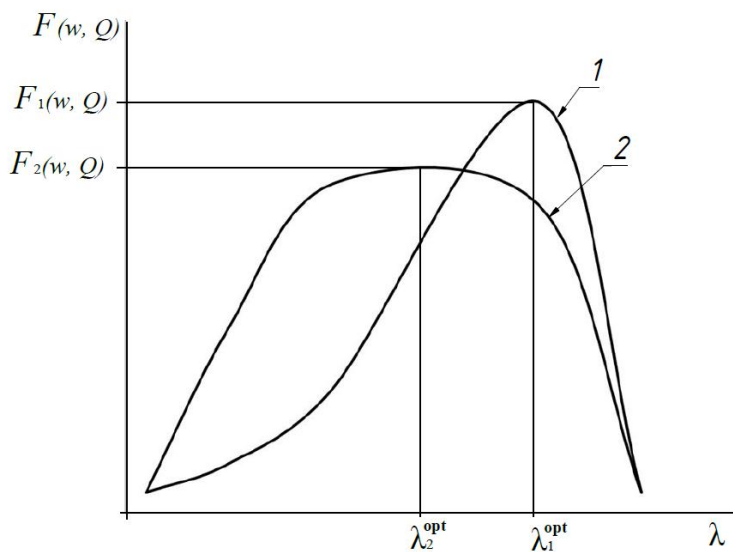


Машина 1



Машина 2

Рис. 11. Условная сравнительная концептуальная характеристика для двух машин, выполненная на основе многокритериальной оптимизации



Безвоздушная шина (1)

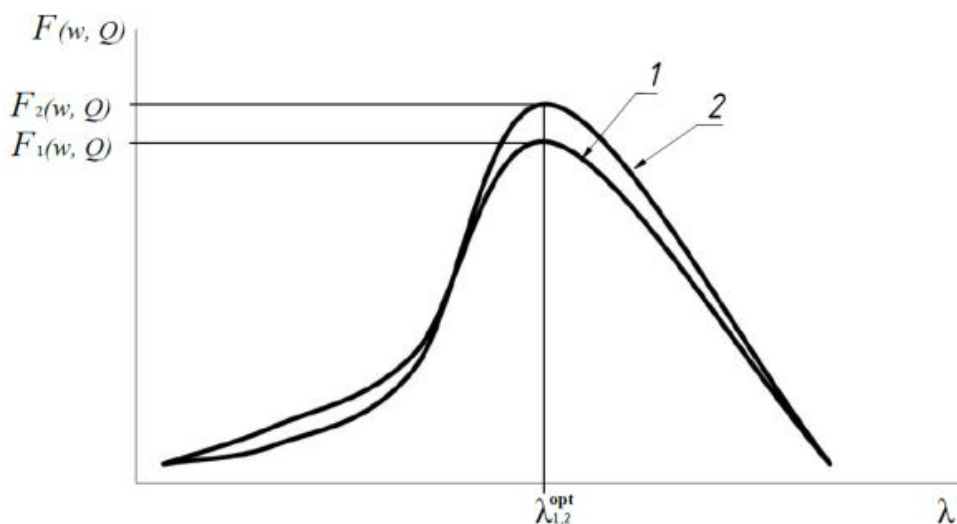


Пневматическая шина (2)

Рис. 12. Условная сравнительная концептуальная характеристика для двух типов колесных движителей

При сравнении конструкций шин, представленных на рис. 12, видно, что у конструкции (1) значение обобщенной функции в задаче многокритериальной оптимизации достигает большего значения по сравнению с конструкцией (2). Отсюда можно сделать вывод, что при оптимальных показателях конкурентоспособности для ряда конструкций безвоздушная шина является более предпочтительным вариантом.

С целью дальнейшего поиска качественного колесного движителя следует воспользоваться функцией многокритериальной оптимизации и сравнить две распространенные конструкции безвоздушных шин. Из графиков функции видно, что шина с раздвоенными спицами превосходит свой аналог с ячеистой структурой практически при любом соотношении $\lambda = \xi(\lambda_k, \lambda_\varepsilon, \lambda_p, \lambda_T)$.



Безвоздушная шина с ячеистой структурой (1)



Безвоздушная шина с раздвоенными спицами (2)

Рис. 13. Условная сравнительная концептуальная характеристика для двух типов упругого элемента безвоздушной шины

Заключение

Рассмотренные критерии оценки качества транспортно-технологических машин, как частные, так и обобщенные, являются важными составляющими процесса контроля показателей жизненного цикла (ЖЦ) изделия и способны в полной мере отразить объективную картину о техническом, технологическом и эксплуатационном состояниях объектов проектирования и наблюдения на всех этапах ЖЦ.

Наиболее рациональными являются частные критерии проходимости, подвижности, эффективности транспортно-технологических машин, объединенные различными методами в многокритериальную (интегральную) оценку конкурентоспособности автотракторной техники, вездеходов, мобильных роботов, планетоходов и других функциональных типов ТТМ.

Вездеходная техника эксплуатируется в тяжелых условиях, осложненных геоклима-

тическими факторами, слабой несущей способностью поверхности движения, сложностью рельефа местности и сезонностью изменения интенсивности осадков, поэтому наиболее значимым критерием для ее оценки является проходимость.

Вместе с тем, превосходства одной машины над другой по критерию проходимости достичь не так сложно, как добиться того же, но по критерию эффективности. Одинаковый уровень проходимости ТТМ может быть реализован различными компоновочными и конструктивными вариантами, а эффективность этих машин при эксплуатации может существенно отличаться. Поэтому оценка качества машины по проходимости становится недостаточной и следует использовать интегральный показатель оценки по подвижности или ввести многокритериальный показатель проходимости – эффективность.

Для более объективной обобщенной оценки качества ТТМ является критерий конкурентоспособности, так как он включает в себя широкий круг показателей. Характеристики конкурентоспособности, рассмотренные в работе [2], охватывают непосредственно всю ТТМ. Однако при помощи данного критерия можно сравнить не только всю машину в целом, но и отдельные узлы и агрегаты как самостоятельные изделия, в частности движитель. Это может позволить осуществить рациональный выбор конструктивных параметров узлов и агрегатов в зависимости от условий эксплуатации.

Библиографический список

1. Многокритериальные оценки, требования к системам критериев [URL:http://www.bbest.ru/razryprresh/mnogokritmetod/mnogocentrksis](http://www.bbest.ru/razryprresh/mnogokritmetod/mnogocentrksis) (дата доступа 18.09.2016).
2. **Беляков, В.В.** Многокритериальная оптимизация в задачах подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева, В.И. Сагунов; НГТУ. – Н. Новгород, 2001. – 271 с.
3. **Будылина, Е. А.** Подходы к многокритериальности сложных систем / Будылина Е. А., Гарькина И. А., Данилов А. М., Пылайкин С. А. // Молодой ученый. – 2013. – №6. – С. 40–43.
4. **Гарькина, И.А.** Управление в сложных технических системах: методологические принципы управления / И. А. Гарькина, А. М. Данилов // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 1 (12). – С. 39–43.
5. **Данилов, А. М.** Анализ показателей лакокрасочных покрытий методом главных компонент / А. М. Данилов, В. И. Логанина, В. А.Смирнов // Известия КазГАСУ. – 2009. – № 1 (11). – С. 243–246.
6. **Гарькина, И. А.** Управление качеством материалов со специальными свойствами / И. А. Гарькина, А. М. Данилов // Проблемы управления. – 2008. – № 6. – С. 67–74.
7. **Ногин, В.Д.** Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В.Д.Ногин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 176 с.
8. **Ларичев, О.И.** Объективные модели и субъективные решения/ О.И.Ларичев. – М.: Изд-во «Наука», 1987. – 480 с.
9. **Фиттерман, Б.М.** Методика оценки конкуренто-способности легковых автомобилей / Б.М. Фиттерман, С.К. Леоничева // Автомоб. пром-сть. – 1979. – № 10. – С. 20–23.
10. **Будалин, С.В.** Оценка эффективности лесовозных автопоездов на этапах выбора и эксплуатации: учеб. пособие / С.В. Будалин. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. – 215 с.
11. Плиев И.А., Вержбицкий А.Н. Методика оценки технического уровня АТС многоцелевого назначения // Автомоб. пром-сть. 1999. № 11. С. 34–36.
12. **Harrington, E.C. Jr.** The Desibiliti Function-Industry Qualiti Control // Pulp and Pap Can.1985. – № 10. – Т. 21. – Р. 494–498.
13. **Наркевич, Э.И.** Определение среднего коэффициента полезного действия автомобиля на маршруте // Автомоб. пром-сть. – 1998. – № 10. – С. 20–23.
14. **Титов, Е.Ф.** О методах определения технического уровня АТС, их агрегатов и узлов // Автомоб. пром-сть. – 2000. – № 1. – С. 27–29.
15. **Фатхутдинов, Р.А.** Управление конкурентоспособностью организации / Р.А. Фатхутдинов. – М.: Изд-во ЭКСМО, 2004. – 544 с.
16. **Спиридонов, И.А.** Международная конкуренция и пути повышения конкурентоспособности экономики России / И.А. Спиридонов. – М.:ИНФРА-М, 1997. – 170 с.

17. **Абалонин, С.М.** Конкурентоспособность транспортных услуг: учеб. пособие / С.М. Абалонин. М.: ИКЦ Академкнига, 2004. 172 с.
18. **Будалин, С.В.** Анализ качественных показателей эксплуатации лесовозных автопоездов / С.В. Будалин, С.В. Ляхов // Естественные и технические науки: науч.-техн. жур. – 2010. – № 2(52). – С. 481–485.
19. **Баловнев, В.И.** Система показателей оценки эффективности дорожно-строительных машин // Строительные и дорожные машины. – 2000. – № 11. – С. 17–20.
20. **Хачатуров, Т.С.** Эффективность капитальных вложений / Т.С. Хачатуров. – М.: Экономика, 1979. – 582 с.
21. **Ванчукевич, В.Ф.** Грузовые авто-мобильные перевозки: учеб. пособие / В.Ф. Ванчукевич, В.Н. Седюкевич, В.С. Холупов. – Минск: Высш. шк., 1989. – 272 с.
22. **Великанов, Д.П.** Эффективность автомобиля / Д.П. Великанов. – М.: Транспорт, 1969. – 240 с.
23. **Агейкин, Я.С.** Вездеходные колесные и комбинированные движители. Теория и расчет / Я.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
24. **Бабков, В.Ф.** Проходимость колесных машин по грунту / В.Ф. Бабков, А.К. Бируля В.М. Сиденко. – М.: Автотрансиздат, 1959. – 189 с.
25. **Гмошинский, В.Г.** Проходимость зимних дорог автотранспортом // Труды совещания по проходимости колесных и гусеничных машин по целине и грунтовым дорогам. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – С. 175–194.
26. **Софиян, А.П.** Об удельном давлении гусеничного движителя / А.П. Софиян, Е.И. Максименко // Тракторы и сельхозмашины. – 1962. – №7. – С. 13–15.
27. **Барахтанов, Л.В.** Проходимость автомобиля / Л.В. Барахтанов, В.В. Беляков, В.Н. Кравец. – Н. Новгород: НГТУ, 1996. – 200 с.
28. **Кнороз, В.И.** Проходимость автомобиля и его оценка / В.И. Кнороз, Ю.В. Шарикян // Автомобильная промышленность. – 1958. – №3. – С. 8–12.
29. **Крагельский, И.В.** Об оценке проходимости // Труды совещания по проходимости колесных и гусеничных машин по целине и грунтовым дорогам. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – С. 7–14.
30. **Крживицкий, А.А.** Снегоходные машины / А.А. Крживицкий. – М.: Машгиз, 1949. – 236 с.
31. **Платонов, В.Ф.** Оценка проходимости полноприводных автомобилей / В.Ф. Платонов, М.П.Чистов, А.И. Аксенов // Автомобильная промышленность. – 1980. – №3. – С. 10–13.
32. **Рукавишников, С.В.** Особенности взаимодействия гусеничного движителя снегоходных машин с полотном пути / С.В.Рукавишников. – Горький: ГПИ, 1979. - 95 с.
33. **Скотников, В.А.** Проходимость машин / В.А. Скотников, А.В. Пономарев, А.В. Климанов. – Минск: Наука и техника, 1982. – 328 с.
34. **Яржемский, С.И.** Критерий проходимости гусеничных машин // Труды совещания по проходимости колесных и гусеничных машин по целине и грунтовым дорогам. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – С. 301–322.
35. **Платонов, В.Ф.** Оценка проходимости полноприводных автомобилей / В.Ф. Платонов, М.П.Чистов, А.И. Аксенов // Автомобильная промышленность. – 1980. – №3. – С. 10–13.
36. **Крживицкий, А.А.** Снегоходные машины / А.А. Крживицкий. – М.: Машгиз, 1949. – 236 с.
37. **Барахтанов, Л.В.** Повышение проходимости гусеничных машин по снегу: дисс... докт. техн. наук: 05.05.03. – Горький, 1988 г. – 352 с.
38. **Аникин, А.А.** Теория передвижения колесных машин по снегу / А.А. Аникин, В.В. Беляков, И.О.Донато. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 240 с.
39. **Костин, И.М.** Обеспечение конкурентоспособности грузовых автомобилей на этапе разработки / И.М. Костин, Х.А. Фасхиев. – Набережные Челны: Изд-во КамПИ, 2001. – 349 с.
40. **Бабков, В.Ф.** Проходимость колесных машин по грунту / В.Ф. Бабков, А.К. Бируля, В.М. Сиденко. – М.: Автотрансиздат, 1959. – 189 с.
41. **Бабков, В.Ф.** Образование колеи при движении автомобиля // Труды совещания по проходимости колесных и гусеничных машин по целине и грунтовым дорогам. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – С. 94–115.
42. **Барахтанов, Л.В.** Проходимость автомобиля / Л.В. Барахтанов, В.В.Беляков, В.Н.Кравец; НГТУ. – Н. Новгород, 1996. – 200 с.
43. Проходимость автомобиля / Н.А. Бухарин, Я.Б. Бронштейн, В.М. Буянов и др. – Воен. изд-во МО СССР, 1959. –310 с.

44. **Безбородова, Г.Б.** О направлениях научных исследований проходимости автомобилей // Изв. вузов. Машиностроение. – 1965. – №5. – С. 145–148.
45. **Гребенщиков, В.И.** Исследование проходимости автомобиля по мягким грунтам // Автомобильная промышленность. – 1956. – №10. – С. 12-15
46. **Токарев, А.А.** Топливная экономичность автомобилей и автопоездов / А.А. Токарев. – М.: Машиностроение, 1982. – 240 с.
47. **Барахтанов, Л.В.** Влияние на эксплуатационные свойства автомобилей конструкционных параметров колесного шасси при движении по снежной целине / Л.В. Барахтанов, В.В. Беляков // Повышение эффективности проектирования, испытаний и эксплуатации автомобилей: тез. докл. и сообщ. международ. науч.-техн. конф. – Н. Новгород, 1994. – С. 12.
48. **Беккер, М.Г.** Введение в теорию систем местность-машина: [пер. с англ.] / М.Г. Беккер; под ред. В.В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.
49. **Bekker, M.** Theory of land locomotion. – University of Michigan, Press – 1960 – 520 p.
50. **Платонов, В.Ф.** Полноприводные автомобили / В.Ф. Платонов. – М.: Машиностроение, 1989. – 312 с.
51. **Вонг, Дж.** Теория наземных транспортных средств / Дж. Вонг. – М.: Машиностроение, 1982. – 284 с.
52. **Евсеев, П.П.** Некоторые вопросы энергетики автомобиля (сборник научно-технических разработок). – Киев, 2006. – 232 с.
53. **Костин, И.М.** Обеспечение конкурентоспособности грузовых автомобилей на этапе разработки / И.М. Костин, Х.А. Фасхиев. – Набережные Челны: Изд-во КамПИ, 2001. – 349 с.
54. **Токарев, А.А.** Топливная экономичность и тягово-скоростные качества автомобиля / А.А.Токарев. – М.: Машиностроение, 1982. – 222 с.
55. **Фаробин, Я.Е.** Трехзвенные автопоезда / Я.Е. Фаробин, А.М. Якобашвили, А.М. Иванов и др. – М.: Машиностроение, 1993. – 222 с.
56. **Трембовельский, Л.Г.** Комплексная оценка эффективности автотранспортных средств / Л.Г. Трембовельский, Р.П. Кушвид // Журнал Автомобильных инженеров: журнал ААИ. – 2011. – № 1. – С. 23–25.
57. **Ларин, В.В.** Прогнозирования параметров опорной проходимости многоосных колесных / В.В. Ларин. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 224 с.
58. **Горелов, В.А.** Научные методы повышения безопасности и энергоэффективности движения многоосных колесных транспортных комплексов: дисс. ... докт. техн. наук: 05.05.03. – М., 2012. – 33 с.
59. **Чижов, Д.А.** Разработка комплексного метода повышения энергоэффективности полноприводной колесной машины: Автореферат дисс. ... канд. техн. Наук: 05.05.03. – М., 2012. – 18 с.
60. **Guidetti, Jean.** “Pneumatic Wheel for Travel on All Types of Terrain.” United States Patent 3957100, filed 6 February 1975, published 18 May 1976
61. **Burt, Ian T. and Papanikolopoulos, Nikolaos P.** “Adjustable diameter wheel assembly, and methods and vehicles using same.” United States Patent 6860346, filed 16 April 2003, published 1 March 2005.
62. **Buehler, Martin, Saunders, Aaron, and Grimmenger, Felix.** “Reconfigurable Robot Drive.” United States Patent 20070114075, filed 30 August 2005, published 24 May 2007.
63. **Jacobsen Stephen C; Olivier Marc X; Mccullough John; Smith Fraser M** «Robotic mobile low-profile transport vehicle» United States Patent WO2012125903 (A2) - 2012-09-20
64. **Беляков, В.В.** Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, А.М. Беляев, М.Е. Бушуева, У.Ш. Вахидов, К.О. Гончаров, Д.В. Зезюлин, В.Е. Колотилин, К.Я. Лелиовский, В.С. Макаров, А.В. Папунин, А.В. Тумасов, А.В. Федоренко // Труды НГТУ. – 2013. – № 3 (100). – С. 145–175.
65. **Барахтанов, Л.В.** Экспериментально-теоретические исследования опорной проходимости многоосных колесных машин / Л.В. Барахтанов, В.В. Беляков, Д.А. Галкин, А.С. Зайцев, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров // Труды НГТУ им. П.Е.Алексеева. – 2012. – №3 – С. 162–170.
66. **Барахтанов, Л.В.** Экспериментальные исследования поворота многоосных колесных машин / Л.В. Барахтанов, В.В. Беляков, Д.А. Галкин, А.С. Зайцев, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров // Труды НГТУ им. П.Е.Алексеева. – 2012. – №4. – С. 175–181.
67. **Беляков, В.В.** Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных средств: дисс. ... докт. тех. наук: 05.05.03. Нижний Новгород 1999. – 485 с.
68. **Беляков, В.В.** Оценка эффективности специальных транспортных средств при движении по снегу / В.В. Беляков, Д.А.Галкин, А.С.Зайцев, Д.В.Зезюлин, Е.М. Кудряшов, В.С. Макаров // Труды НГТУ им. П.Е.Алексеева. – 2012. № 2 (95).– С. 156–166.

69. **Беляков, В.В.** Подвижность специальных транспортных средств по дорогам типа «stone-road» / В.В. Беляков, У.Ш. Вахидов, Д.А. Галкин, А.С. Зайцев, Е.М. Кудряшов, В.С. Макаров // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. – 2012. – №1. – С. 143–151.
70. **Вахидов, У.Ш.** Моделирование трасс движения транспортных средств, характерных для территории Северного Кавказа / У.Ш. Вахидов, В.В. Беляков, В.С. Макаров // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2011. – №7. – С. 24–26.
71. **Вахидов, У.Ш.** Математическое описание дорог типа «stone-road» / У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3; URL: www.science-education.ru/103-6376 (дата обращения: 05.06.2012).
72. **Вахидов, У.Ш.** Определение характеристик микропрофиля в поймах рек Северного Кавказа / У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – №1. – С. 82–87.
73. **Галкин, Д.А.** Влияние параметров шин на подвижность многоосных колесных машин / Д.А. Галкин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6; URL: www.science-education.ru/106-7882 (дата обращения: 24.12.2012).
74. **Галкин, Д.А.** Математическая модель преодоления разрушаемого уступа многоосной колесной машиной / Д.А. Галкин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. – 2012. – Т. 1-2. – № 42–43. – С. 28–29.
75. **Гончаров, К.О.** Влияние экскавационно-бульдозерных эффектов возникающих при криволинейном движении колеса на сопротивление качению / К.О. Гончаров, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2010. – № 6. – С. 3–3.
76. **Гончаров, К.О.** Проведение замеров микропрофиля поверхности движения типа ровное поле / К.О. Гончаров, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. – 2012. – Т. 1-2. – № 42–43. – С. 29–30.
77. **Гончаров, К.О.** Оценка влияния экскавационно-бульдозерных эффектов на проходимость многоосных колесных машин при криволинейном движении по снегу: Дисс... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2011 г. – 263 с.
78. **Гончаров, К.О.** Экспериментальные исследования многоосной колесной машины / К.О. Гончаров, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2010. – № 12. – С. 10–10.
79. **Зайцев, А.С.** Математическая модель преодоления рва многоосной колесной машиной / А.С. Зайцев, Д.А. Галкин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. – 2012. – Т. 1-2. – № 42–43. – С. 39–40.
80. **Зезюлин, Д.В.** Влияние параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снегу / Д.В. Зезюлин, У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5; URL: www.science-education.ru/105-6927 (дата обращения: 17.09.2012).
81. **Зезюлин, Д.В.** Разработка методики выбора конструкционных параметров движителей, обеспечивающих эффективность движения колесных машин по снегу: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2013. – 218 с.
82. **Зезюлин, Д.В.** Расчетный анализ влияния параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снежному полотну пути / Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. – 2012. – Т. 1-2. – № 42–43. – С. 41–42.
83. **Макаров, В.С.** Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2009. – 161 с.
84. **Беляков, В.В.** Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, А.М. Беляев, М.Е. Бушуева, У.Ш. Вахидов, К.О. Гончаров, Д.В. Зезюлин, В.Е. Колотилин, К.Я. Лелиовский, В.С. Макаров, А.В. Папунин, А.В. Тумасов, А.В. Федоренко // Труды НГТУ. – 2013. – №3. – С. 145–174.
85. **Макаров, В.С.** Определение характеристик микропрофиля дорог, предназначенных для движения транспортно-технологических машин / В.С. Макаров, К.О. Гончаров, В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, А.М. Беляев, А.В. Папунин, А.В. Редкозубов // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. <http://www.science-education.ru/105-7111> (дата обращения: 05.10.2012).
86. **Макаров, В.С.** Статистический анализ характеристик снежного покрова / Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/107-8289> (дата обращения: 05.02.2013).

87. **Макаров, В.С.** Оценка эффективности движения колесных машин на основании статистических характеристик снежного покрова / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, К.О. Гончаров, А.В. Федоренко, В.В. Беляков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – №1 – С. 150–157.
88. **Редкозубов, А.В.** О целесообразности моделирования дорог при помощи фрактального исчисления / А.В. Редкозубов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. – 2012. – Т. 1-2. – № 42-43. – С. 87–88.
89. **Галкин, А.А.** Математическая модель преодоления разрушаемого рва многоосной колесной машиной/ Д.А. Галкин, А.С. Зайцев, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Журнал автомобильных инженеров. – 2012. – № 6. – С. 40–42.
90. **Макаров, В.С.** Формирование снежного покрова в зависимости от ландшафта местности и оценка подвижности транспортно-технологических машин в течение зимнего периода / В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, А.М. Беляев, А.В. Папунин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – №1 – С. 155–160.
91. Вездеходные транспортно-технологические машины. Основы теории движения: монография / под общ. ред. В.В. Белякова и А.П. Куляшова. – Н. Новгород: ТАЛАН, 2004. – 961 с.
92. Методы оценки конкурентоспособности изделий URL:<http://works.doklad.ru/view/umvch8bqawA/3.html> (дата доступа 18.09.2016).
93. **Зезюлин, Д.В.** Влияние параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снегу / Д.В. Зезюлин, У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – С. 84–84.
94. **Макаров, В.С.** Характер изменения снежного покрова как полотна пути с учетом неравномерности его залегания на местности / В.С. Макаров, А.В. Папунин, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4. – С. 33.
95. **Макаров, В.С.** Формирование снежного покрова в зависимости от ландшафта местности и оценка подвижности транспортно-технологических машин в течение зимнего периода / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, А.М. Беляев, А.В. Папунин, В.В. Беляков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 2 (99). – С. 155–160.
96. **Михеев, А.В.** Оценка деформации колеса, оснащенного непневматической шиной при компьютерном моделировании вертикального статического нагружения / Михеев А.В., Беляков В.В., Макаров В.С., Зезюлин Д.В., Кострова З.А. // Труды НГТУ. – 2015. №2. – С. 162–169.

*Дата поступления
в редакцию 19.10.2016*

**V.V. Belyakov, A.M. Belyaev, P.O. Beresnev, M.E. Bushueva, D.V. Zezyulin,
V.E. Kolotilin, V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin, Z.A. Kostrova, V.S. Makarov,
A.V. Miheev, D.M. Porubov, V.I. Filatov**

ASSESSMENT CRITERIA QUALITY OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeyev

This article deals with common approaches to multicriteria evaluation of quality machines. Presents historical and bibliographic reviews of various assessing criteria of possibility, motility, efficiency and competitiveness of the automotive and off-road vehicles. The purpose of the study is to identify the quality criteria for a more accurate comparison of different models and full-scale models of transport and technological machines (TTM), as well as the identification of rational modes of vehicle use (CU).

Key words: criterion of quality products, possibility, efficiency, competitiveness, motility, automotive mechanisms, transport and technological machines, vehicles, multi-criteria assessment of the quality, mover.