

## НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 629.113

В.В. Беляков<sup>1</sup>, А.М. Беляев<sup>5</sup>, М.Е. Бушуева<sup>1</sup>, У.Ш. Вахидов<sup>1</sup>,  
К.О. Гончаров<sup>1</sup>, Д.В. Зезюлин<sup>1</sup>, В.Е. Колотилин<sup>2</sup>, К.Я. Лелиовский<sup>1</sup>,  
В.С. Макаров<sup>1</sup>, А.В. Папунин<sup>4</sup>, А.В. Тумасов<sup>2</sup>, А.В. Федоренко<sup>1</sup>

### КОНЦЕПЦИЯ ПОДВИЖНОСТИ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
Малое инновационное предприятие НГТУ ООО «ИнТех»<sup>2</sup>,  
Малое инновационное предприятие НГТУ ООО НПФ «ДСТ»<sup>3</sup>,  
ООО «Управляющая компания «группа ГАЗ»<sup>4</sup>,  
ООО «Автол»<sup>5</sup>

Данная статья позиционируется как концептуальная парадигма, обуславливающая понятие подвижности мобильных наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов. Подвижность в контексте данной статьи определяет обобщенную характеристику конструкционных и эксплуатационных свойств наземных мобильных систем и комплексов. В совокупности с экономическими, эргономическими и экологическими показателями качества этих машин подвижность характеризует конкурентоспособность объектов как товара.

В работе подвижность рассматривается как совокупность группы задач: поддержания курсовой ориентации, скорости движения, живучести и устранения критических ситуаций (буксования и блокировки движителя, устойчивости по опрокидыванию и проходимости машины в целом).

*Ключевые слова:* подвижность, мобильность, живучесть, динамическая адаптивность, условия эксплуатации, проходимость.

### Введение

Для эффективного проектирования, эксплуатации и маркетинга мобильных наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов необходима возможность точной оценки их качества как характеристики конструкционных технико-технологических параметров, функционально-оперативных эксплуатационно-потребительских свойств, т.е. возможность определения *подвижности*, как обобщающей характеристики данных объектов, и в более широком смысле – оценки *конкурентоспособности* этих машин.

### Историческая справка рассматриваемого вопроса

Вопросы, связанные с *подвижностью* мобильных наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов, изначально рассматривались исключительно применительно к военной технике: танкам, бронетранспортерам, боевым машинам пехоты и десанта, самоходным артиллерийским установкам и мобильным инженерным машинам. В отечественной военной доктрине *подвижность* мобильной военной техники объединяет ряд важнейших ее показателей: быстрходность, маневренность, проходимость, плавучесть и за-

пас хода. Однако данное представление о подвижности имеет разрозненный (дифференцированный) характер, нежели объединяющий (интегральный).

Показатель подвижность в историческом развитии претерпел существенные изменения.

Первые исследования, по подвижности, начавшиеся с появлением мобильных боевых машин, относятся к 1900-м годам. Однако в тот период не делалось различия между понятиями *подвижность* и *проходимость* машин. Основные решения по повышению подвижности связывались с конструкционными решениями в области совершенствования двигателей боевой техники. Работая над повышением подвижности боевых машин, в начале XX века, конструкторы активно создавали новые типы двигателей, в частности, комбинированные (колесно-гусеничные).

После Первой мировой войны в ряде стран с целью повышения подвижности войск приняли на вооружение боевые машины (броневые автомобили и легкие танки) с комбинированным двигателем. Здесь уже просматривается отход от примитивного понятия *подвижности*, как только проходимости машин. В структуру понятия *подвижность* вводится показатель скорость движения на маршруте, что обуславливает появление в войсках большого числа боевых колесных машин.

В период между мировыми войнами большее внимание уделяется оперативной подвижности военной техники, нежели тактической или стратегической. В начале 1930-х гг. во всем мире проводились исследования проблем, связанных с повышением проходимости колесных машин. В результате всех многочисленных испытаний был сделан вывод о том, что к конструированию ходовой части боевых и транспортных армейских машин нужен свой подход, в котором главное внимание должно быть направлено на высокую проходимость, плавность хода и надежность. Утвердилось мнение, что военный автомобиль или боевая колесная машина, должны иметь привод на все оси (колеса) и независимую подвеску. Однако как такового понятия *подвижность* в этот период так и не было сформулировано, хотя базовые характеристики подвижности мобильность (проходимость) и надежность уже определились.

Эксплуатация мобильной военной техники в период Второй мировой войны подтвердила правильность выбранных направлений исследований, что главными параметрами военных машин являются проходимость и надежность. В связи с чем, основным видом мобильной боевой техники времен Второй мировой войны становятся гусеничные машины, в частности, танки.

В результате анализа опыта Второй мировой войны в США и в СССР был сделан вывод, что ни колесные, ни гусеничные машины не обеспечивали требуемую подвижность войск. Поэтому в условиях холодной войны в странах НАТО и Варшавского договора велись активные работы по повышению подвижности военных машин. В Советском Союзе эти работы координировала комиссия в АН СССР по проходимости колесных и гусеничных машин, возглавляемая Г.В. Зимелевым, а в США и странах блока НАТО эти работы концентрировались под руководством М.Г. Беккера в ряде организаций оборонного и космического ведомств.

В интернет-ресурсе [1] указывается, что в США в 60–80-х годах XX века при разработке тактико-технических требований, проектировании и планировании использования военных гусеничных и колесных машин предполагалось, что необходимо иметь следующие прогнозируемые данные:

- 1) возможность реализации заданных технических характеристик конкретной машины при движении ее в реальных условиях местности и окружающей среды заданного географического района;
- 2) характеристику подвижности машин различных конструкций на определенной местности;
- 3) влияние отдельных конструктивных изменений на подвижность машин.

Для решения этой задачи в 1971 г. командованием материального обеспечения сухопутных войск армии США (АМС) была разработана программа исследований, объединяю-

щая работы нескольких научно-исследовательских организаций - лаборатории подвижности научно-исследовательского центра по танкам и колесным машинам (USATAC), экспериментальной станции водных путей (WES), лаборатории исследования полярных районов (CRREL).

На первом этапе разработки этой программы было установлено, что для ответа на все вопросы, связанные с применением машин, необходима объективная методика количественной оценки характеристик подвижности машины при ее движении по заданной местности и в заданных условиях окружающей среды. Такая методика может быть разработана с помощью математической модели системы машина-водитель-местность, причем эта модель должна удовлетворять требованиям, выдвигаемым проектированием, выбором и применением конкретной машины.

Несмотря на то, что ряд частных задач, связанных с взаимодействием со слабыми грунтами, препятствиями, водными преградами, влиянием неровностей поверхности на систему машина-водитель, к 1971 г. был решен как теоретически, так и экспериментально, надежной общепринятой методики комплексной оценки поведения подвижной системы разработано не было.

Первая такая программа моделирования подвижности была разработана в 1973 г. и получила название АМС-71. С 1974 г. в эту программу введен ряд изменений с целью расширения возможностей модели.

Подвижность машины в значительной степени зависит от характера местности, по которой происходит движение. В середине 60-х годов прошлого столетия в качестве критерия подвижности единодушно была принята *скорость движения машины между двумя точками на заданной местности*, которая получила название *полезно-обеспеченной скорости*. Данная скорость равна отношению расстояния между двумя точками по прямой к полному времени движения от точки до точки, независимо от пройденного пути. Полезно-обеспеченная скорость является обобщенным понятием, характеризующим не только технические показатели машины, но и местность, и поставленную задачу. Например, если поверхность по своему характеру однородна и включает в себя только совокупность преодолимых неровностей и складок местности, то подвижность характеризуется максимальной скоростью машины по прямой, величина которой ограничена только этими препятствиями. В реальных условиях задача значительно усложняется в силу неоднородности характера местности, и максимальная скорость становится зависимой от особенностей местности, расположения конечной точки и выбранного пути.

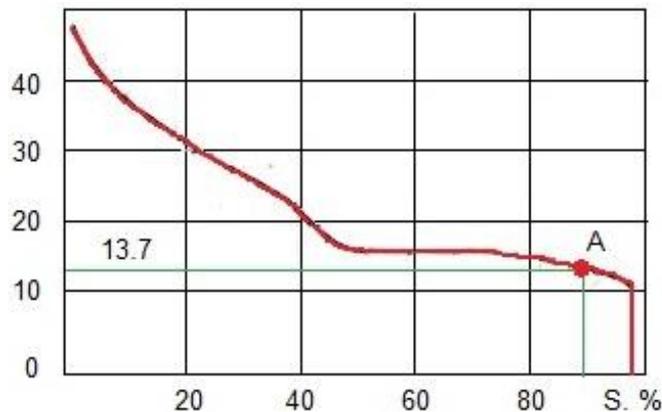
В модели АМС-71 реальный район местности разбивается на мозаику из отдельных участков (рис. 1, а), в пределах каждого из которых поверхность считается достаточно однородной, что позволяет в качестве показателя подвижности для такого участка использовать просто величину максимальной скорости движения по прямой. При этом тот факт, что размеры участка могут не позволить достичь прогнозируемого максимума скорости, во внимание не принимается. После завершения расчетов по всему району составляется карта (необязательно в картографической форме) максимальных скоростей, которые может развить машина в каждой точке рассматриваемой местности.

В это же время (60–80-е годы XX века) были созданы и полностью сформировались теории колебаний (автор Р.В. Ротенберг), поворота многоосных автомобилей (А.С. Литвинов), динамической нагруженности (А.К. Фрумкин), проходимости (Я.С. Агейкин), общая теория криволинейного движения колесных и гусеничных машин (Я.С. Фаробин), теория устойчивости движения (Д.А. Антонов), уточненная теория поворачиваемости с учетом бокового увода эластичных колес (Д.А. Антонов), теория бокового и тангенциального взаимодействия эластичных колес с опорной поверхностью (Д.А. Антонов), теория плавучести боевых колесных машин (А. П. Степанов). Все это позволило приступить к новому этапу исследований по созданию боевых машин особо высокой проходимости и живучести. Тем не менее, понятие *подвижность* так и не имело четко выраженной формулировки.

Вот один из примеров. В 1971 году в издательстве «Стройиздат» вышла книга И.П. Барсова и А.П. Станковского «Строительные машины и их эксплуатация», в которой указывается, что маневренность (подвижность) машины – это способность передвигаться и разворачиваться в стесненных условиях, а также перемещаться по строительному участку и вне его с достаточной по производственным условиям скоростью [2]. Авторы выделили два основных понятия подвижности маневренность и скорость движения, при этом подменили одно понятие другим.



а



б

Рис. 1. Представление подвижности в модели АМС-71:

а – карта подвижности для 2,5-т грузового автомобиля при движении в условиях бездорожья по местности площадью ~ 8 км<sup>2</sup>, район территории ФРГ (Цифры обозначают округленные значения максимально развиваемой скорости, заштрихованные участки непроходимы);

б – кривая подвижности для 2,5-т грузового автомобиля при движении вне дорог по местности

Таким образом, на протяжении сравнительно короткой истории бронетанковой техники сухопутных войск, составляющей около ста лет, характер ведения боевых действий неоднократно менялся. Эти изменения имели кардинальный характер – от «позиционной» до «маневренной» войны и, далее, до локальных конфликтов и контртеррористических операций. Именно характер предполагаемых боевых действий является определяющим при формировании требований к военной технике. Соответственно менялось и ранжирование основных свойств боевых машин, но неизменным оставалось классическое сочетание «огневая мощь - защита - подвижность», которое также неоднократно обновлялось, дополнялось новыми компонентами. В последнее время к основным боевым свойствам относят и боевую готовность. Кроме того, в боевых условиях подавляющая часть времени эксплуатации боевых машин уходит на их рассредоточение и сосредоточение в заданных районах, переброску в другие районы ведения боевых действий, совершение марша. В данных условиях для успешного выполнения поставленных задач решающее значение имеет подвижность танков.

По данным работы [3], имеется ряд принципиально отличающихся определений подвижности и ее характеристик:

**Источник 1** [4]. Подвижность рассматривается как боевое свойство, в соответствии с условиями движения делящееся на тактическую и оперативную. В дальнейшем даются определения тактической и оперативной подвижности: «*Тактическая подвижность* – способность танка перемещаться по местности и дорогам при ведении боя. *Оперативная подвиж-*

ность – способность танка совершать марш своим ходом или при перевозке на транспортных средствах. Подвижность танка определяется как техническими свойствами (быстроходностью, маневренностью, проходимостью, запасом хода и транспортабельностью), так и внешними условиями движения и квалификацией водителей. *Быстроходность* – свойство танка перемещаться с определенной скоростью в различных условиях. *Маневренность* – свойство танка изменять скорость и направление движения с определенной интенсивностью. *Проходимость* – способность танка преодолевать естественные и искусственные препятствия».

**Источник 2** [5]. «Подвижностью называется способность танковых частей и подразделений к перемещению из одного района в другой. Она характеризуется скоростью перемещения на расстояние  $S$ . Поскольку танки не обладают абсолютной проходимостью и на пути движения им приходится обходить непреодолимые участки местности и препятствия, общий путь движения удлиняется и реально составляет  $S_p$  ( $S_p > S$ ) (рис. 2). Общее время  $T$ , затраченное на перемещение танка (подразделения, части) из пункта **A** в пункт **B**, складывается из времени чистого движения  $t_d$ , времени на обслуживание и заправку  $t_3$ , времени на ремонт и устранение неисправностей  $t_p$  [4]. Отсюда подвижность будет равна

$$\Pi = ST^{-1} = S(t_3 + t_d + t_p)^{-1} = \left[ S_p t_d^{-1} \right] \left[ S S_p^{-1} \right] \left[ 1 + \frac{t_3 + t_p}{t_d} \right]^{-1}. \quad (1)$$

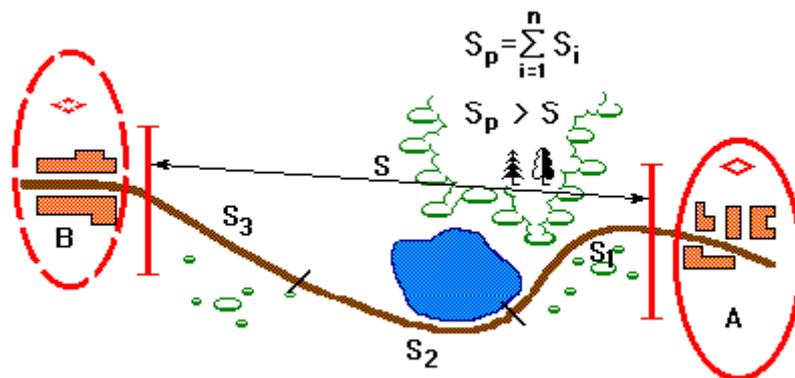


Рис. 2. Схема маршрута движения

В полученном выражении отношение  $S_p/t_d$  представляет собой фактическую среднюю скорость движения танка  $v_{ср}$ . Отношение  $S/S_p$  характеризует проходимость танка, и чем ближе оно к единице, тем выше проходимость. В настоящее время принято различать тактическую, оперативно-тактическую и стратегическую подвижность.

На *тактическую подвижность*, т.е. подвижность танка на поле боя, влияют его быстроходность и проходимость. Заправки танка на бой хватает, а надежность современных танков такова, что их выход из строя по техническим причинам незначителен. Поэтому при определении тактической подвижности можно принять  $t_3 = 0$ ;  $t_p = 0$ .

При оценке *оперативно-тактической подвижности*, т.е. подвижности при ведении армейских и фронтовых операций, необходимо учитывать время на устранение технических неисправностей  $t_p$  и время на обслуживание  $t_3$ . Здесь уже в меньшей степени начинает сказываться проходимость машин, так как имеется некоторая возможность оборудования маршрутов движения танков.

*Стратегическая подвижность* проявляется в стратегических операциях при перемещении танков на большие расстояния по заранее оборудованным, как правило, маршрутам. Здесь проходимость танков не играет существенной роли, но проявляется необходимость в дозаправках топливом, а при недостаточной надежности – ремонте. Назовем сумму времени  $t_3$  и  $t_p$  временем обеспечения движения  $t_{о.д.}$ , а отношение  $S/S_p$ , которым учитывается увеличение длины пути из-за наличия на маршруте непроходимых участков местности, коэффициентом проходимости  $k_{пр}$ . Тогда выражение (1) будет иметь вид

$$\Pi = k_{\text{пр}} v_{\text{ср}} \left[ 1 + \frac{t_{\text{о.д}}}{t_{\text{д}}} \right]^{-1} \quad (2)$$

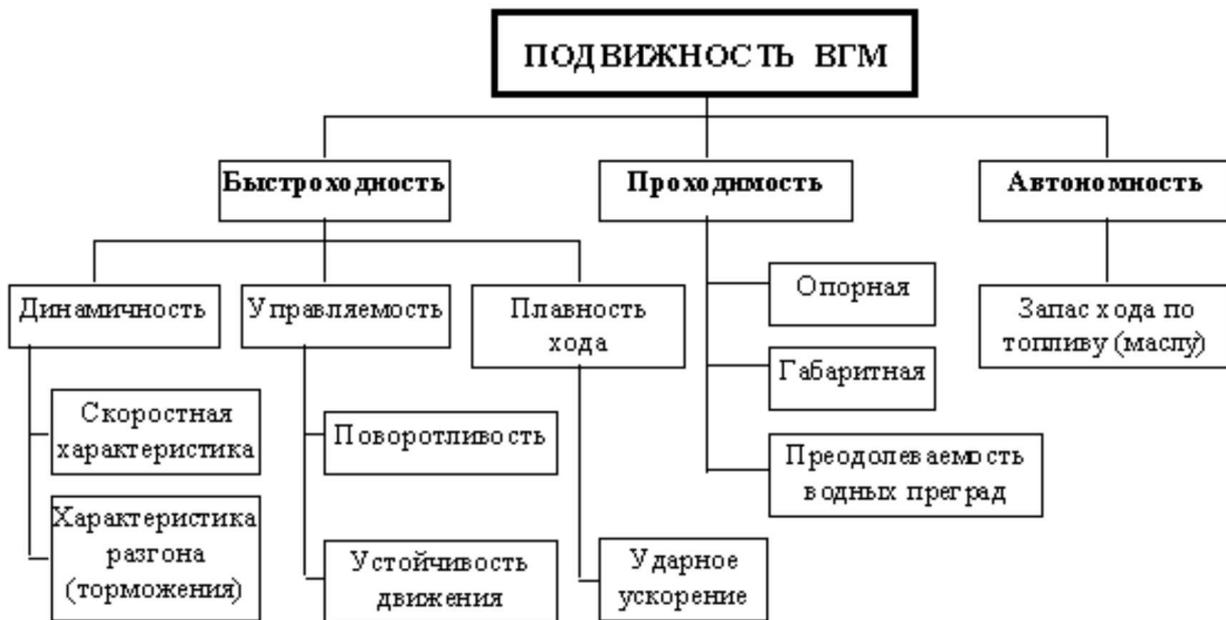
**Источник 3.** [6]. *Подвижность ВГМ* – совокупность свойств ВГМ, характеризующих способность ее самопередвижения в заданных условиях. Это такие частные свойства, как автономность передвижения, проходимость и быстроходность...

*Быстроходность* – свойство ВГМ, характеризующее скорость преодоления ею определенного расстояния в заданных условиях при максимальном использовании технических возможностей. Быстроходность включает динамичность, плавность хода и управляемость.

*Проходимость* – свойство ВГМ, характеризующее ее способность преодолевать труднопроходимые участки местности и различные препятствия. Свойствами проходимости являются: опорная проходимость, габаритная проходимость и преодолеваемость водных преград.

*Автономность действия* – свойство ВГМ, характеризующее ее способность к использованию штатным экипажем по функциональному предназначению с заданными показателями, без пополнения штатных запасов материалов и имущества и без проведения операций по обслуживанию с использованием дополнительных сил и средств. Автономность действия характеризуется запасом хода по топливу и маслу».

Автор работы [3] пишет: «В соответствии с определениями свойств и их характеристиками определенными в проекте ГОСТ можно составить схему свойств подвижности и их характеристик (рис. 3)».



**Рис. 3.** Подвижность ВГМ и ее свойства

В результате анализа приведенных определений и характеристик подвижности и ее свойств примем следующее определение.

*Подвижность* это совокупность свойств ВГМ, характеризующих ее способность к самопередвижению в заданных условиях или пригодность к перевозке транспортными средствами. Показателем подвижности  $\Pi$  является средняя скорость, полученная при делении расстояния по прямой  $S$ , на которое переместилась ВГМ, на общее время  $T$ , затраченное на перемещение (1, 2).

Можно рассматривать тактическую, оперативно-тактическую и стратегическую подвижности.

*Тактическая подвижность ВГМ* – подвижность на поле боя и марше при выполнении тактических задач (задачи одного дня боя или марша без дозаправки топливом или боекомплект).

*Оперативно-тактическая подвижность ВГМ* – подвижность при ведении армейских и фронтовых операций.

*Стратегическая подвижность ВГМ* – подвижность в стратегических операциях при перемещении ВГМ своим ходом на большие расстояния по заранее оборудованным, как правило, маршрутам или перевозке транспортными средствами (автомобильным, железнодорожным, морским или авиатранспортом).

Подвижность ВГМ характеризуется следующими частными свойствами: быстроходностью, проходимостью и автономностью. Стратегическая подвижность, кроме того, характеризуется транспортабельностью (пригодностью к перевозке транспортными средствами и десантированию).

*Быстроходность* – свойство ВГМ, характеризующее скорость преодоления ею определенного расстояния в заданных условиях при максимальном использовании технических возможностей. Быстроходность включает динамичность, плавность хода и управляемость. Показателем быстроходности является средняя скорость движения  $v_{cp}$ , полученная путем деления реально пройденного пути  $S_p$  на время чистого движения  $t_d$ .

Показателем проходимости является коэффициент проходимости  $k_{пр} = S/S_p$ , показателем автономности принимается коэффициент автономности  $k_a = t_d / (t_d + t_{о.д}) = t_d / T$ . С учетом коэффициента автономности формула (2) будет иметь вид:  $P = k_{пр} k_a v_{cp}$  ».

Таким образом, для корректной оценки боевой эффективности военных машин, возникает необходимость в достоверной оценке их подвижности.

В XXI веке картина по определению понятия подвижности также не улучшилась. Рассмотрим, как определяется термин «*подвижность*» в диссертационных исследованиях ведущих специалистов в области автотракторной техники: **Е.Е. Баженов** (обобщенный показатель подвижности и тяговых свойств – свободная сила тяги на крюке); **И.О. Донато** (рассчитать подвижность машины, т.е. определить скорость движения в зависимости от высоты снега); **В.И. Котляренко** (проходимость рассматривается как одно из свойств подвижности, характеризующее способность машины преодолевать заданное расстояние с максимальной скоростью и минимальным расходом топлива); **В.В. Ларин** (эффективность выполнения поставленных задач принято характеризовать «подвижностью» – комплексом свойств, характеризующих способность движения по заданному маршруту с высокой скоростью, экономичностью и надежностью); **Е.В. Сарач** (важным оперативным свойством обеспечения живучести боевой ГМ считается ее высокая подвижность, обеспечиваемая высокими скоростями движения); **Н.В. Чернышев** (Подвижность – это любая способность к перемещению. Подвижность охватывает группу свойств, одним из которых является поворотливость. Известно, что поворотливость выражает способность машины к преодолению поворотов на местности и дорогах. Динамическая поворотливость характеризует способность машины к поворотам при движении с высокими скоростями.); **В. Горелов** (Таким образом, разработка закона управления поворотом колёс задней оси, направленного на повышение устойчивости и управляемости, является важной исследовательской и прикладной задачей, решение которой позволит модернизировать существующие и создавать новые объекты без кардинального изменения системы рулевого управления с улучшенными показателями по подвижности: по скорости выполнения манёвров без угрозы возникновения аварийной ситуации, что, в свою очередь, позволит снизить требования и к подготовке водителя); **А.Н. Наумов** (ограничение подвижности автомобилей, предназначенных для движения вне дорог, в большинстве случаев предопределяется показателями их опорной проходимости).

При этом еще в 2000 году профессором В.В. Беляковым в публикациях [7,8] и позднее в работах [9–22] было неоднократно дано определение, что *подвижность автотракторной техники включает в себя способность машины выполнять поставленную задачу с оптимальной адаптивностью к условиям эксплуатации и состоянию самой машины*. Определение содержит две характеристики, относительно которых формируется выполнение транспортно-технологической операции: *условия эксплуатации и состояние машины*. Управление

состоянием машины связано с поддержанием ее жизнеспособности, и главным в этом процессе является обеспечение надежности. Однако данное определение не было должным образом воспринято научной общественностью, что и породило «волну» приведенных недоразумений при определении подвижности в более поздних исследованиях. Коллектив авторов продолжил исследования в области создания **теории подвижности** мобильных наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов, включая автономные автоматические системы (мобильные роботы и планетоходы). На данном этапе в Нижегородской научной школе сформировалось устойчивое представление о категории «подвижность транспортно-технологических машин», которое излагается далее.

### Подвижность как совокупность задач управления

Авторы данной работы в публикациях [23–47] 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**, т.е. 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. 4 в соответствии с изложенной в работах [10, 20] 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:

$$П = f(ЭП; КП) \quad (3)$$

Сложно, с позиции подвижности машины, 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. 4. Иерархия задач управления ТТМ

**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  $\lambda_k$  – параметры машины, включая параметры движителя;  $\lambda_s$  – характеристики эксплуатационных условий, включая свойства и параметры полотна пути;  $\lambda_p$  – 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

$$\Delta P_{\varphi}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } \Delta P_{\varphi}, \quad (4)$$

$$W_{\varphi}(\Phi_{\varphi}, \lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } W_{\varphi}(\Phi_{\varphi}, \lambda) \geq [W_f(\Phi_f, \lambda) + \Delta W(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda)], \quad (5)$$

$$\Phi_R(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } \lambda \equiv \xi(\lambda_k; \lambda_s; \lambda_p); \quad (6)$$

по живучести

$$R_{\text{он}}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda, t) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } R_{\text{он}}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda, t) \geq R_{\eta}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda, t); \quad (7)$$

$$\Phi_f \text{ при } R_{\text{эн}}(\Phi_{\text{ив}}, \lambda, t) \geq R_{\gamma}(\Phi_{\text{ив}}, \lambda, t). \quad (8)$$

Критерии построены в зависимости от параметров взаимодействия движителя с плотным пути  $\Phi_{\varphi}$ ,  $\Phi_f$  и с учетом других характеристик  $\lambda \equiv \xi(\lambda_k; \lambda_s; \lambda_p)$ . Здесь  $\Delta P_{\varphi}$  – запас силы тяги;  $W_{\varphi}$  – 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;  $\Phi_R$  – обобщенная функция радиуса кривизны траектории движения;  $R_{\text{он}}$  – вероятность безотказной работы;  $R_{\eta}$  – 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;  $R_{\gamma}$  – 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 (4)-(8) с ограничивающими условиями можно свести к более обоснованной системе целевых функций:

$$\Phi_{\varphi}(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}, \quad (9)$$

$$\Phi_f(\lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda}, \quad (10)$$

$$v(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}, \quad (11)$$

$$\rho(\lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda}, \quad (12)$$

$$R(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}. \quad (13)$$

Здесь  $\Phi_{\varphi}$  – обобщенная функция сцепления движителя машины с материалом опорного основания;  $\Phi_f$  – 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;  $\lambda$  – конструкционные ( $\lambda_k$ ), эксплуатационные ( $\lambda_s$ ) и режимные ( $\lambda_p$ ) параметры и характеристики машины и процесса ее движения.

Решение задачи многокритериальной оптимизации представленной системой уравнений (9) подробно изложено в работе [10].

Для решения данной задачи, носящей многокритериальный характер, используем метод 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 [10]:

$$F(w, \tilde{Q}) = \sum_{i=1}^5 w_i \tilde{Q}_i, \quad (14)$$

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 двигателя с материалом опорного основания ( $N_\phi(\lambda_k, \lambda_3, \lambda_p)$ ),  $\tilde{Q}_2$  – нормированную функцию сопротивления движению машины ( $N_f(\lambda_k, \lambda_3, \lambda_p)$ ),  $\tilde{Q}_3$  – нормированную скорость движения машины ( $N_v(\lambda_k, \lambda_3, \lambda_p)$ ),  $\tilde{Q}_4$  – нормированный относительный радиус поворота ( $N_p(\lambda_k, \lambda_3, \lambda_p)$ ),  $\tilde{Q}_5$  – нормированную вероятность безотказной работы машины ( $N_R(\lambda_k, \lambda_3, \lambda_p)$ ). Здесь, как и ранее,  $\lambda_k$  – параметры машины, включая и параметры двигателя,  $\lambda_3$  – характеристики эксплуатационных условий, включая свойства и параметры полотна пути,  $\lambda_p$  – параметры, характеризующие режимы движения как кинематические, так и силовые.

При постановке проблемы подвижности автотракторной техники в работе [10] были представлены три решения задачи ее поддержания:

- 1) концепция управления движением ( $\lambda_k = \text{const}, \lambda_3 = \text{const}, \lambda_p = \text{var}$ );
- 2) концепция конструкции машины ( $\lambda_k = \text{var}, \lambda_3 = \text{const}, \lambda_p = \text{const}$ );
- 3) концепция условий эксплуатации ( $\lambda_k = \text{const}, \lambda_3 = \text{var}, \lambda_p = \text{const}$ ).

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  $\lambda_k, \lambda_3, \lambda_p$ . При этом наиболее интересным является комплексное решение задачи подвижности, когда  $\lambda_k = \text{var}, \lambda_3 = \text{var}, \lambda_p = \text{var}$ , т.е. оценка конкурентоспособности существующей, модифицируемой или вновь создаваемой автотракторной техники. Такая постановка задачи многокритериальной оптимизации и методы ее решения рассматриваются в третьей главе книги [10] и разделе данной статьи посвященной оценке конкурентоспособности автотракторной техники

### Динамическая адаптивная подвижность – устранение критических ситуаций

Все структурные единицы представленной на рис. 4 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. Управление вездеходными транспортными средствами в условиях их передвижения по заснеженной местности имеет ряд характерных особенностей (рис.5): 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.

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.).

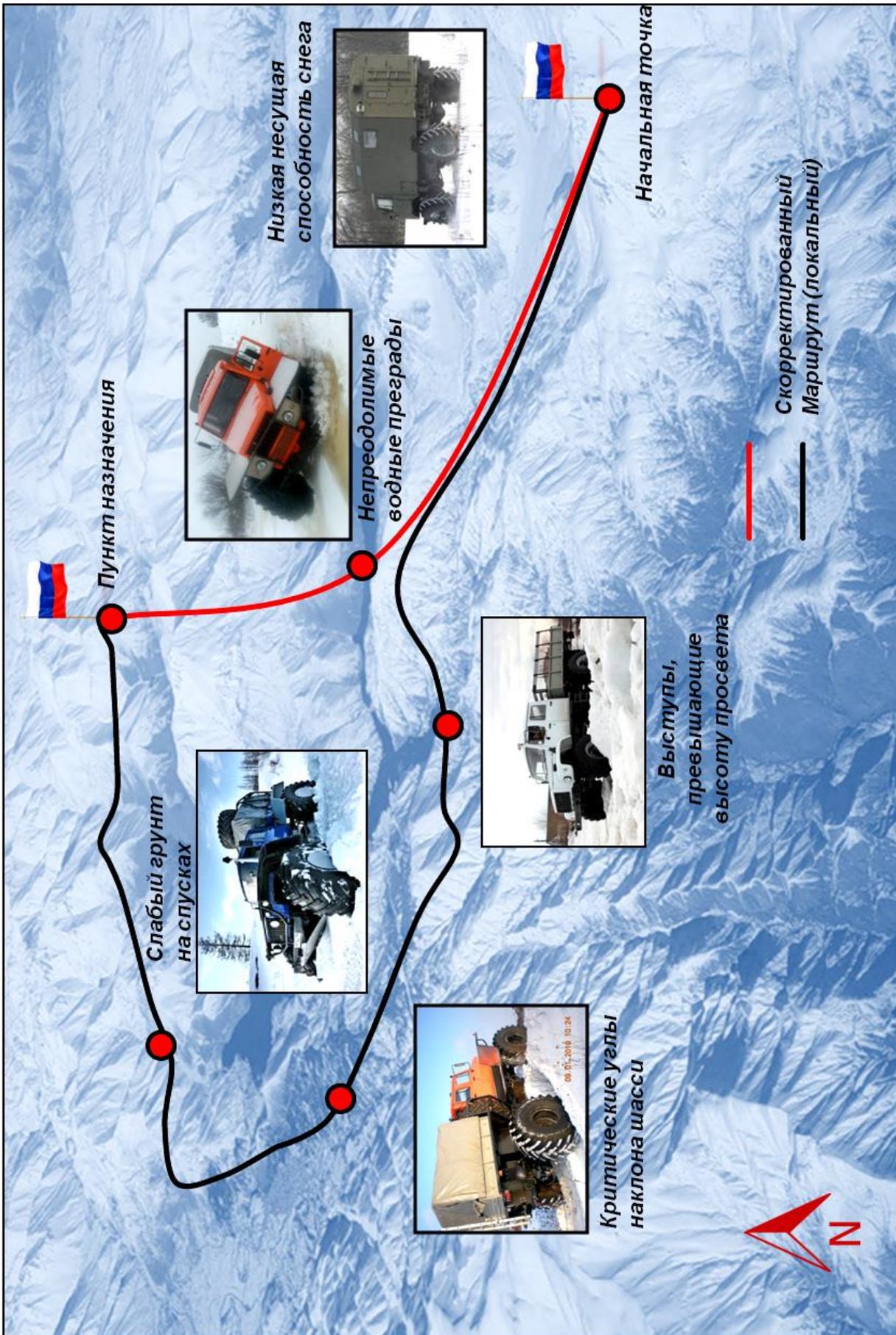


Рис.5. Особенности движения транспортных средств в условиях заснеженной местности

Однако для передвижения по труднопроходимой местности при резком изменении условий движения обеспечить подвижность машины можно только за 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. 4 в задаче устранения критических ситуаций.

Общеизвестно, что 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; величины буксования движителей; 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, отражённого 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 корректируется 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.

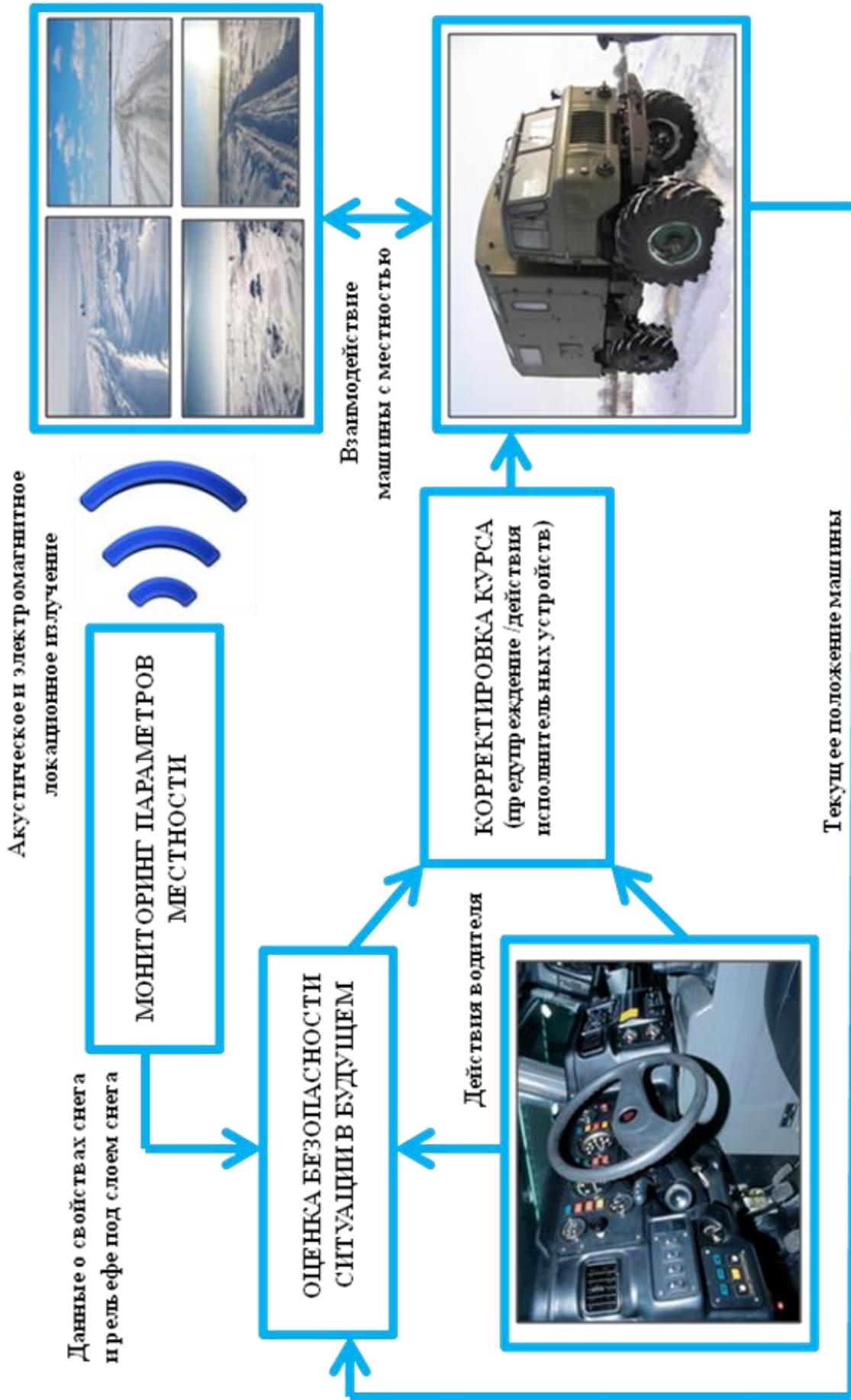


Рис.6. Система предотвращения критических ситуаций

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 [47] позволяет предварительно выделить запрещенные для движения участки и наметить оптимальный для данного рельефа глобальный маршрут из исходной точки в конечную.

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, перспективным является разработка и создание акустических систем прогнозирования конфигурации рельефа подстилающего слоя перед машиной, а также бесконтактного определения физико-механических свойств и толщины снежного покрова (рис.6).

### Эффективность транспортно-технологических машин

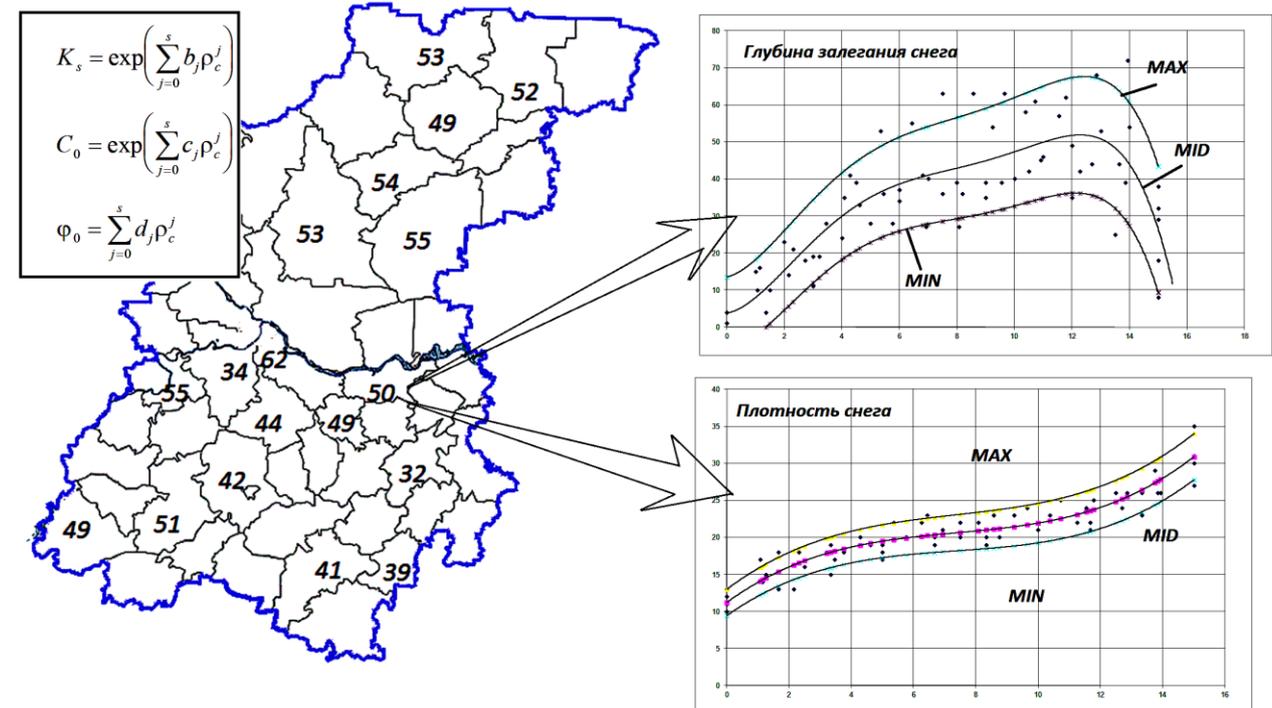
Разнообразие транспортно-технологических машин на базе автотракторной техники, используемых человеком в своей ежедневной экономическо-производственной и социально-политической деятельности, привело к созданию множества оценочных комплексов их эффективности.

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.

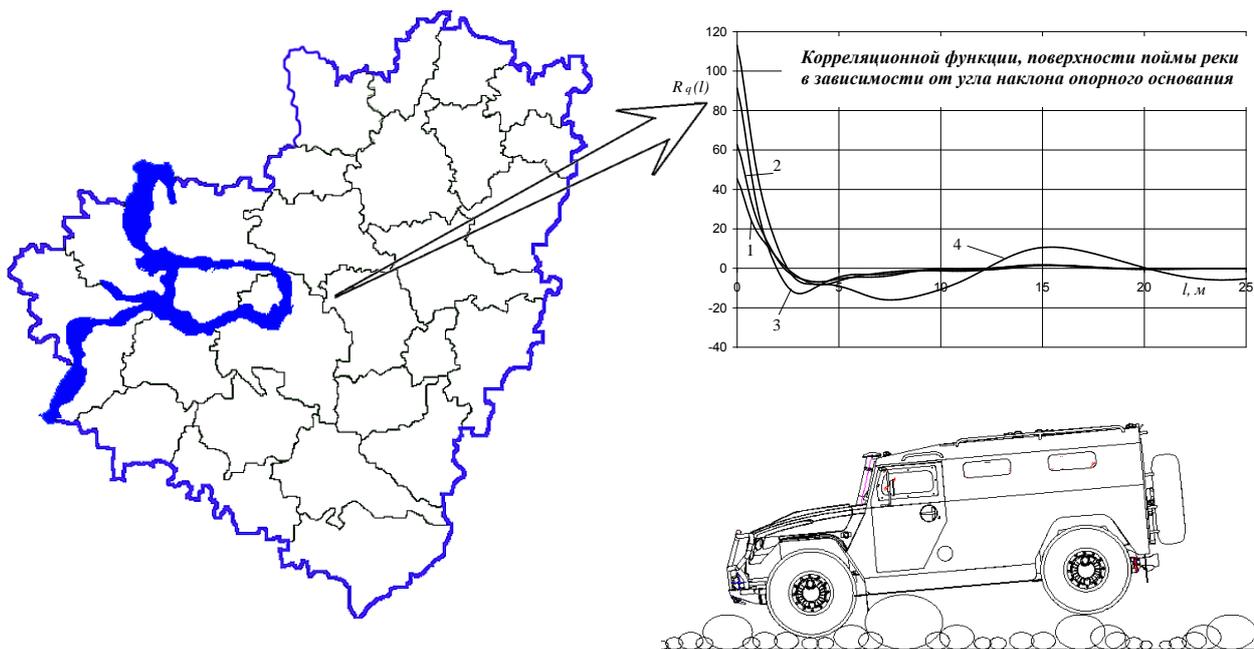
***Под эффективностью понимается обобщающий показатель, характеризующий отношение результатов деятельности к затратам на их получение.***

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.

Зная статистические характеристики местности (рис. 7), например, *снега* (рис. 7, а) (плотность и глубину залегания в течение года, а также продолжительность и сроки начала сезона в разных районах рассматриваемой территории) или *каменных дорог* (рис. 7, б), можно все остальные параметры, необходимые для оценки проходимости машин, получить исходя из них. Опираясь на эти данные, можно оценить подвижность транспортно-технологических машин и, как следствие, определить параметры и показатели их проходимости в данных эксплуатационных условиях.



а)



Фрактальная модель полотна пути

б)

**Рис. 7. Примеры характеристик местности:**

а – средние значения максимальных глубин снега на территории Нижегородской области;  
 б – «stone-road» корреляционные функции, поверхности поймы реки в Чеченской республике в зависимости от угла наклона опорного основания:  
 1 - угол наклона 0,05 рад; 2 - угол наклона 0,10 рад;  
 3 - угол наклона 0,15 рад; 4 - угол наклона 0,20 рад

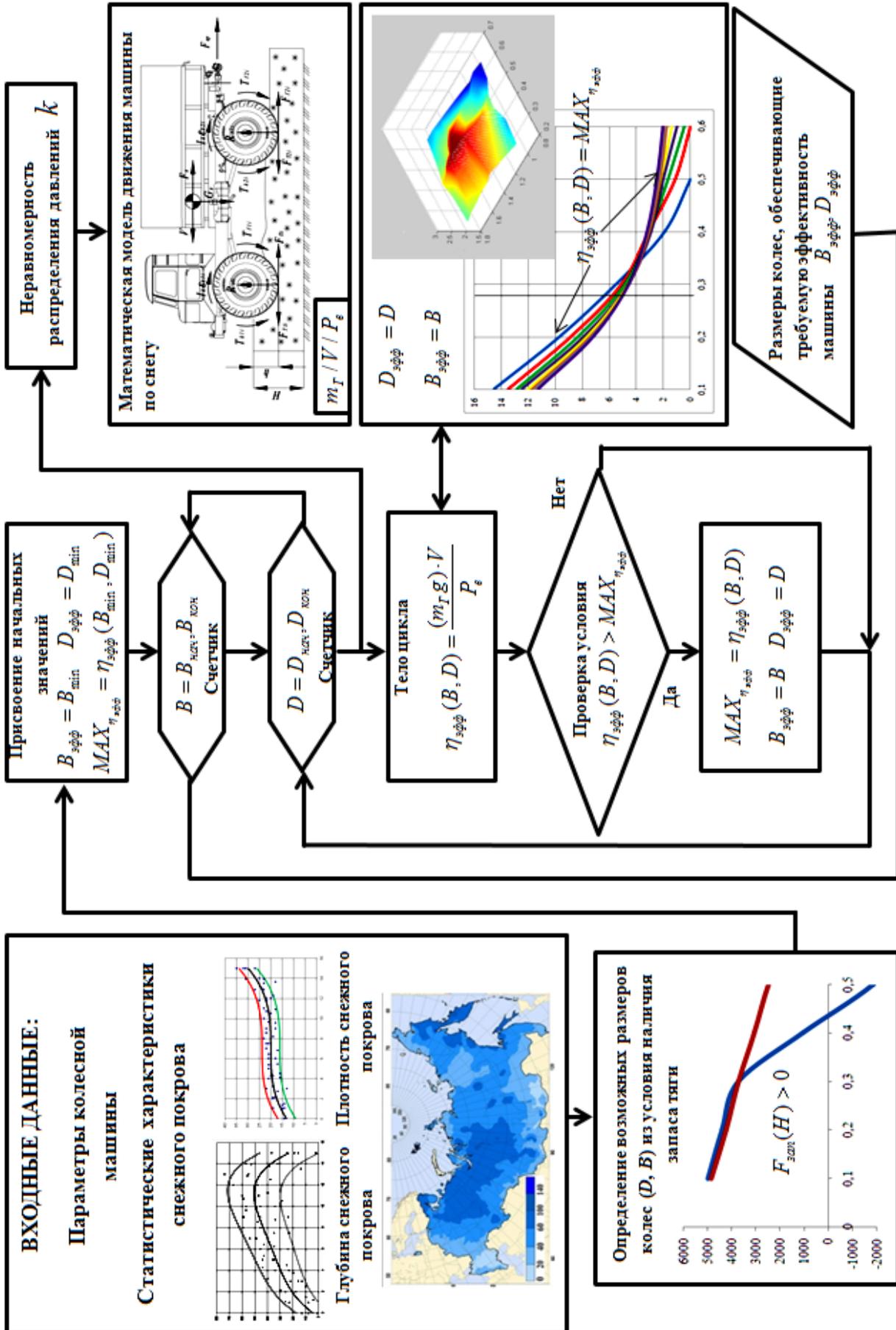


Рис. 8. Методика расчета эффективности транспортно-технологической машины

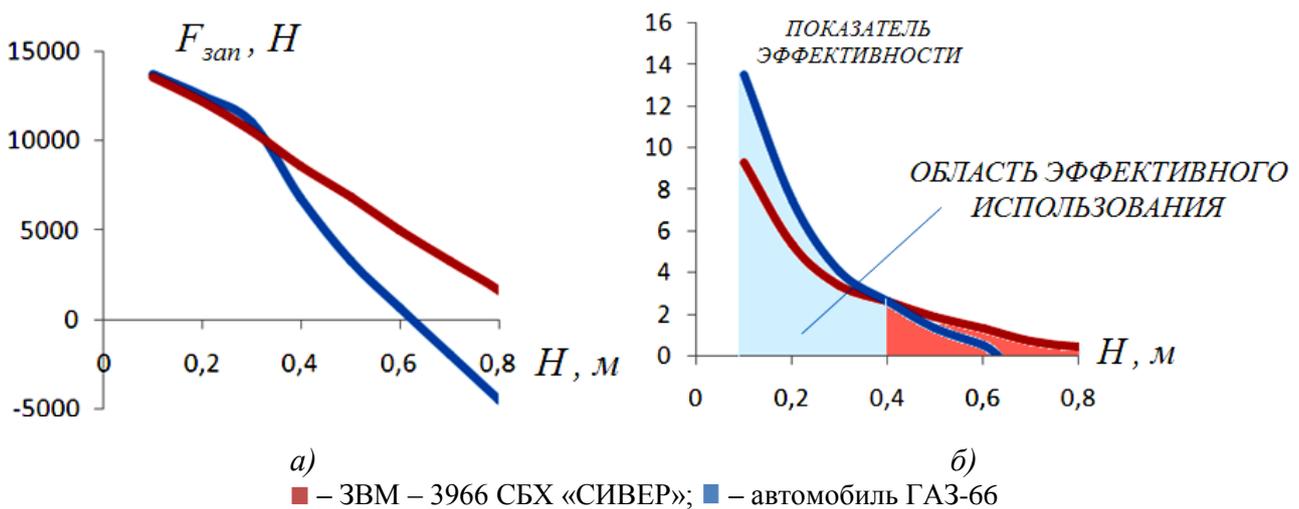
Наиболее рациональным критерием оценки эффективности ТТМ при движении является показатель, определяемый как *отношение транспортной производительности к соответствующей входной мощности системы* (потребной мощности двигателя):

$$\eta_{\text{эфф}} = \frac{(m_{\Gamma}g) \cdot V}{P_e}, \quad (15)$$

где  $m_{\Gamma}$  – масса перевозимого груза;  $V$  – скорость транспортного средства;  $P_e$  – потребная мощность двигателя машины.

На рис. 8 представлена блок-схема методики выбора конструкционных параметров движителей ТТМ на основе расчетной оценки эффективности движения машин по бездорожью, в частности, по снегу [39]. 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.

На рис. 9 приведен пример результатов расчетных исследований проходимости и эффективности для автомобилей ГАЗ 66 на шинах КИ-115А 12.00 R18 (рис. 9, а) и ЗВМ – 3966 СБХ «СИБЕР» на шинах ИЯВ-79 (21,3-24) 1400x540 (рис. 9, 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 проходимостью в заданных условиях их эффективность может быть различной**.



**Рис. 9. Зависимости:**

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

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.

## Конкурентоспособность транспортно-технологических машин

Для качественной и количественной оценки конкурентоспособности автотракторной техники можно предложить ряд методов: построения экспертной системы, нахождения регрессии, квалиметрии и многокритериальной оптимизации [10]. 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.

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 равновероятност-

ной при различных сочетаниях входных параметров  $\lambda$ . Это как нельзя лучше отвечает *субъективной потребителю оценке* качества автотракторной техники, т.е. «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  $\lambda_k$ , режимных характеристик ее работы  $\lambda_p$  и обобщенных функций взаимодействия ( $\Phi_\phi, \Phi_f$ ) двигателя и рабочих органов машины с местностью, которые определим как совокупность  $\lambda_\phi$ . В дополнение к названным входным величинам необходимо ввести показатели, определяющие оценочные характеристики по технологичности изготовления, обслуживания и ремонта автотракторной техники –  $\lambda_T$ , а также систему, характеризующую индивидуальные социальные и психофизиологические свойства потребителя –  $\lambda_\pi$ . При этом  $\lambda = \xi(\lambda_k, \lambda_\phi, \lambda_p, \lambda_T, \lambda_\pi)$ , а задача многокритериальной оценки конкурентоспособности автотракторной техники, т.е. поиск  $\lambda^{opt}$ , имеет смысл лишь в случае, когда  $\lambda_k = var$ ;  $\lambda_\phi = var$ ;  $\lambda_p = var$ ;  $\lambda_T = var$ ;  $\lambda_\pi = var$ . Величины  $\lambda_k, \lambda_p, \lambda_\phi, \lambda_T, \lambda_\pi$  являются поливекторами первого ранга:  $\lambda_k = \lambda_k \{ \lambda_{k1}, \lambda_{k2}, \dots, \lambda_{kq} \}$ ;  $\lambda_p = \lambda_p \{ \lambda_{p1}, \lambda_{p2}, \dots, \lambda_{pr} \}$ ;  $\lambda_\phi = \lambda_\phi \{ \lambda_{\phi1}, \lambda_{\phi2}, \dots, \lambda_{\phi t} \}$ ;  $\lambda_T = \lambda_T \{ \lambda_{T1}, \lambda_{T2}, \dots, \lambda_{Tu} \}$ ;  $\lambda_\pi = \lambda_\pi \{ \lambda_{\pi1}, \lambda_{\pi2}, \dots, \lambda_{\pi s} \}$ .

В связи с чем множество допустимых значений  $\lambda$  может быть представлено как поливектор второго ранга  $\Lambda$  с компонентами  $\Lambda_{ij}$ , где  $i = k, p, \phi, T, \pi$  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  $\Lambda$ , 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  $i$  ( $p, \phi, T, \pi$ ) 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:

группа 1 – *технические*  $A1(A1 \subset A, |A1|=m_1);$  (16)

группа 2 – *технологические*  $A2(A2 \subset A, |A2|=m_2);$  (17)

группа 3 – *эксплуатационные*  $A3(A3 \subset A, |A3|=m_3);$  (18)

группа 4 – *экономические (стоимостные)*  $A4(A4 \subset A, |A4|=m_4).$  (19)

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  $\lambda = \xi(\lambda_k, \lambda_\phi, \lambda_p, \lambda_T, \lambda_\pi)$  при  $\lambda_k = var$ ;  $\lambda_\phi = var$ ;  $\lambda_p = var$ ;  $\lambda_T = var$ ;  $\lambda_\pi = var$ .

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

$$\{\Phi_A [a_i^{(0)}(\lambda^{(0)})]_i^{(0)} = \operatorname{extr}_{\lambda \in \Lambda} \{\Phi_A [a_i(\lambda)]_i\}, \quad (i=1,2,\dots,m). \quad (20)$$

При этом  $\lambda^{(0)} \equiv \lambda^{\text{opt}}$  – есть *оптимальное решение* из множества допустимых решений  $\Lambda$ , 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  $\lambda = \xi(\lambda_\kappa, \lambda_\varsigma, \lambda_p, \lambda_\tau, \lambda_\pi)$ , т.е.

$$\{\Phi_A [a_i(\lambda)]_i\} \equiv a_i(\lambda), \quad (21)$$

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

$$b_q(\lambda) \in A, \quad (q=1,2,\dots,k); \quad (22)$$

$$c_p(\lambda) \in A, \quad (p=k+1, k+2,\dots,m). \quad (23)$$

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

$$a_i(\lambda) \rightarrow \operatorname{extr}_{\lambda \in \Lambda}, \quad (i=1,2,\dots,m) \text{ или } \begin{cases} b_q(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}, & (q=1,2,\dots,k), \\ c_p(\lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda}, & (p=k+1, k+2,\dots,m). \end{cases} \quad (24)$$

Здесь  $a_i(\lambda) \in A$ ;  $\lambda = \xi(\lambda_\kappa, \lambda_\varsigma, \lambda_p, \lambda_\tau, \lambda_\pi)$  при  $\lambda_\kappa = \text{var}$ ;  $\lambda_\varsigma = \text{var}$ ;  $\lambda_p = \text{var}$ ;  $\lambda_\tau = \text{var}$ ;  $\lambda_\pi = \text{var}$ . 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 [10], учитывающего относительную важность частных критериев оптимальности с помощью построения скалярной функции (поливектора нулевого ранга)  $F$ . Рассмотрим функцию  $F$  с аддитивным критерием оптимальности:

$$F(w, \tilde{Q}) = \sum_{i=1}^m w_i \tilde{Q}_i, \quad (25)$$

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 связи с чем 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 [10]. Здесь  $a_i^+(\lambda^+) = \max_{\lambda_j \in \Lambda} a_i(\lambda)$ ,  $a_i^-(\lambda^-) = \min_{\lambda_j \in \Lambda} a_i(\lambda)$ , где  $\lambda_j$  – текущее значение вектора  $\lambda$ ;  $\Lambda$  – множество значений вектора  $\lambda$ ;  $\lambda^+$  – значение вектора  $\lambda$ , при котором  $a_i(\lambda)$  имеет максимальное значение;  $\lambda^-$  – значение вектора  $\lambda$ , 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 предложенную ранее 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:

$$N_{b_q}(\lambda_j) = \frac{b_q(\lambda_j) - b_q^-(\lambda^-)}{b_q^+(\lambda^+) - b_q^-(\lambda^-)} (\beta - \alpha) + \alpha, \quad (26)$$

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 вид:

$$b_q^+(\lambda^+) = \max_{\lambda_j \in \Lambda} b_q(\lambda), \quad (q=1,2,\dots,k); \quad (27)$$

$$b_q^-(\lambda^-) = \min_{\lambda_j \in \Lambda} b_q(\lambda), \quad (q=1,2,\dots,k), \quad (28)$$

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

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

$$N_{c_p}(\lambda_j) = \frac{c_p(\lambda_j) - c_p^-(\lambda^-)}{c_p^+(\lambda^+) - c_p^-(\lambda^-)} (\beta - \alpha) + \alpha, \quad (29)$$

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:

$$c_p^+(\lambda^+) = \max_{\lambda_j \in \Lambda} c_p(\lambda), \quad (p=k+1, k+2,\dots,m); \quad (30)$$

$$c_p^-(\lambda^-) = \min_{\lambda_j \in \Lambda} c_p(\lambda), \quad (p=k+1, k+2,\dots,m), \quad (31)$$

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

В результате задача сводится к решению однокритериальной задачи оптимизации:

$$F(w, \lambda^{\text{opt}}) = \max_{\lambda_j \in \Lambda} F(w, \lambda_j) = \max_{\lambda_j \in \Lambda} \left\{ \sum_{q=1}^k w_q N_{b_q}(\lambda_j) + \sum_{p=k+1}^m w_p N_{c_p}(\lambda_j) \right\}. \quad (32)$$

Следует вспомнить, что  $\lambda = \xi(\lambda_k, \lambda_3, \lambda_p, \lambda_T, \lambda_\Pi)$ , поэтому оптимизацию с помощью

обобщенного критерия оптимальности можно производить либо по любому из компонент вектора  $\lambda$  (например,  $\lambda_k = \text{var}$ ;  $\lambda_3 = \text{const}$ ;  $\lambda_p = \text{const}$ ;  $\lambda_T = \text{const}$ ;  $\lambda_{\Pi} = \text{const}$ ), либо по всем компонентам сразу ( $\lambda_k = \text{var}$ ;  $\lambda_3 = \text{var}$ ;  $\lambda_p = \text{var}$ ;  $\lambda_T = \text{var}$ ;  $\lambda_{\Pi} = \text{var}$ ).

Решение данной задачи многокритериальной оценки транспортно-технологических машин на базе автотракторной техники более подробно с примерами излагается в работе [10].

Задача многокритериальной оценки конкурентоспособности автотракторной техники есть поиск  $\lambda^{\text{opt}}$ , который имеет смысл лишь в случае, когда  $\lambda_k = \text{var}$ ;  $\lambda_3 = \text{var}$ ;  $\lambda_p = \text{var}$ ;  $\lambda_T = \text{var}$ ;  $\lambda_{\Pi} = \text{var}$ . При этом определяются и рациональные значения компонент поливектора первого ранга  $\lambda^{\text{opt}} = \xi^*(\lambda_k^{\text{rac}}, \lambda_p^{\text{rac}}, \lambda_3^{\text{rac}}, \lambda_T^{\text{rac}}, \lambda_{\Pi}^{\text{rac}})$ . 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. 10 показана структурно-функциональная модель автотракторного средства, а на рис. 11 дерево оценок конкурентоспособности транспортно-технологических машин. Используя схемы, представленную на рис. 10, и уравнение (24) как исходную предпосылку для построения *экспресс-модели конкурентоспособности*, можно записать систему целевых функций для каждого блока машины, определить ее конкурентоспособность.

Для записи таких функций необходимо из дерева оценочных показателей (рис.11) выбрать наиболее важные характеристики для данного конструкционного блока машины, которые характеризуют конструкцию, эксплуатацию, режим работы, технологичность и потребительские свойства ( $R$  – надежность;  $C$  – себестоимость;  $\Xi$  – экономичность: производительность и рентабельность;  $\Pi$  – психофизиологические показатели).

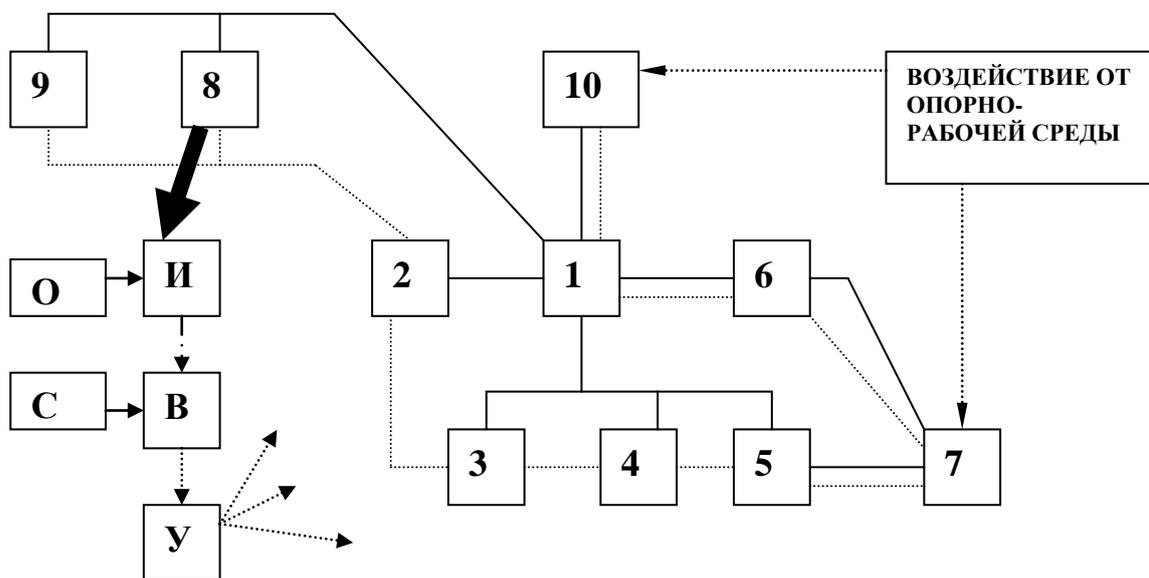


Рис. 10. Функциональная схема автотракторной техники:

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

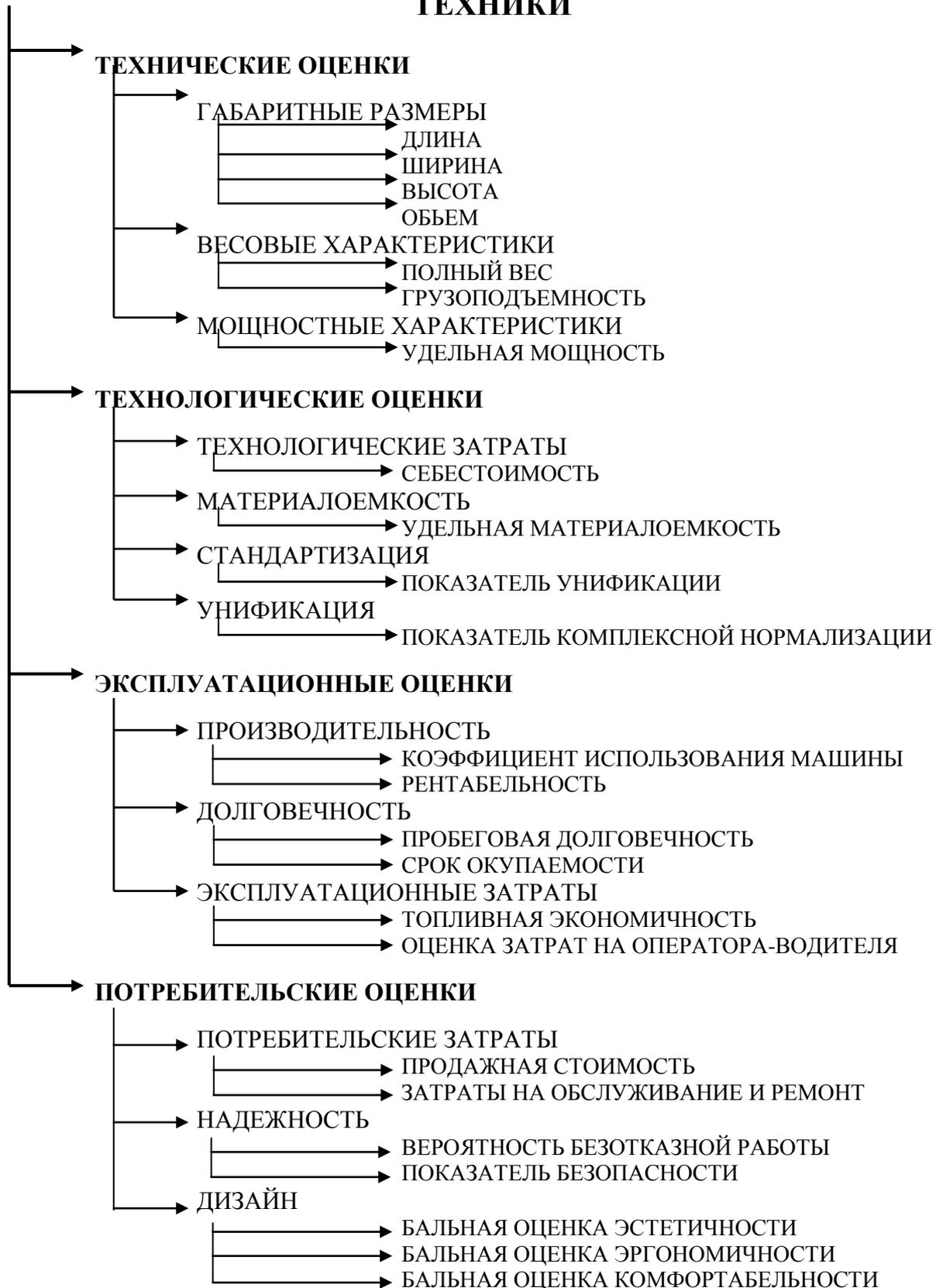


Рис. 11. Дерево оценок конкурентоспособности транспортно-технологических машин

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

$$a_{\kappa i}(\lambda) \rightarrow \text{extr}; \quad \lambda \in \Lambda \quad (33)$$

$$a_{\vartheta i}(\lambda) \rightarrow \text{extr}; \quad \lambda \in \Lambda \quad (34)$$

$$a_{\rho i}(\lambda) \rightarrow \text{extr}; \quad \lambda \in \Lambda \quad (35)$$

$$a_{\tau i}(\lambda) \rightarrow \text{extr}; \quad \lambda \in \Lambda \quad (36)$$

$$a_{Ri}(\lambda) \rightarrow \max; \quad \lambda \in \Lambda \quad (37)$$

$$a_{Ci}(\lambda) \rightarrow \min; \quad \lambda \in \Lambda \quad (38)$$

$$\Delta P_{\varphi}(\lambda) \rightarrow \max; \quad \lambda \in \Lambda \quad (39)$$

$$v(\lambda) \rightarrow \max; \quad \lambda \in \Lambda \quad (40)$$

$$\Xi(\lambda) \rightarrow \text{extr}; \quad \lambda \in \Lambda \quad (41)$$

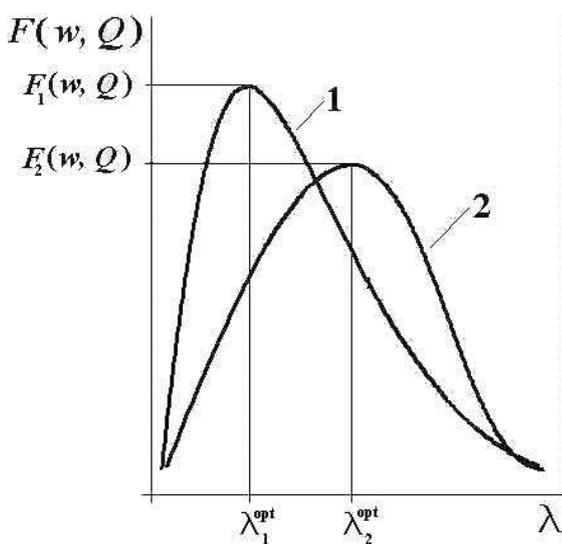
$$\Pi(\lambda) \rightarrow \text{extr}. \quad \lambda \in \Lambda \quad (42)$$

Здесь  $a_i(\lambda) \in A$ , ( $i=1,2,\dots,11$ );  $\lambda = \xi(\lambda_{\kappa}, \lambda_{\vartheta}, \lambda_{\rho}, \lambda_{\tau}, \lambda_{\Pi})$  при  $\lambda_{\kappa} = \text{var}$ ,  $\lambda_{\vartheta} = \text{var}$ ,  $\lambda_{\rho} = \text{var}$ ,  $\lambda_{\tau} = \text{var}$ ,  $\lambda_{\Pi} = \text{var}$ . Целевые функции (39)–(42) относятся к машине в целом.

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

$$F(w, Q) = \text{extr}_{\lambda \in \Lambda} \left\{ w_1 N_{\varphi}(\lambda) + w_2 N_v(\lambda) + w_3 N_{\rho}(\lambda) + w_4 N_{\vartheta}(\lambda) + \sum_{i=1}^{11} [w_{\kappa i} N_{\kappa i}(\lambda) + w_{\vartheta i} N_{\vartheta i}(\lambda) + w_{\rho i} N_{\rho i}(\lambda) + w_{\tau i} N_{\tau i}(\lambda) + w_{Ri} N_{Ri}(\lambda) + w_{Ci} N_{Ci}(\lambda)] \right\}. \quad (43)$$

Условная сравнительная концептуальная характеристика для двух машин, выполненная на основе многокритериальной оптимизации, представлена на рис. 12.



Машина 1



Машина 2

Рис. 12. Условная сравнительная концептуальная характеристика для двух машин, выполненная на основе многокритериальной оптимизации

Из рис. 12 видно, что наилучшей является первая машина, у которой  $F_1(w, Q) > F_2(w, Q)$  и, следовательно, характеристики, объединенные в совокупности  $\lambda_1^{\text{opt}}$ , предпочтительней чем  $\lambda_2^{\text{opt}}$ . 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  $\lambda_{ki}, \lambda_{\varepsilon i}, \lambda_{pi}, \lambda_{ti}, \lambda_{\pi i}$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ).

### Заключение

Результаты экспериментально-теоретических исследований коллектива авторов данной статьи использованы в НИР, выполненных в рамках грантов и государственных контрактов:

– грант SfP-973799 Semiconductors Программа НАТО Наука для Мира «Разработка радиационно-стойких полупроводниковых приборов для систем связи и прецизионных измерений с использованием шумового анализа» (Отделения Науки НАТО, программа «Наука для Мира», 2002 – 2003 гг);

– № П460 «Разработка инновационных технологий и методов управления наземными транспортными средствами, повышения их энергоэффективности и безопасности»;

– № 14.740.11.0972 «Разработка и исследование инновационных конструкций, процессов управления и ресурсосберегающих технологий повышающих эффективность и безопасность автотранспортного комплекса»;

– П2561 «Создание энергоэффективных двигателей транспортных средств на основе анализа процесса их взаимодействия с опорной поверхностью в различных дорожных условиях и на бездорожье»;

– № 16.516.11.6023 «Создание экспериментального образца специального транспортного средства северного исполнения на шинах сверхнизкого давления для работы на слабо-несущих опорных поверхностях»;

– № 14.740.11.0943 «Разработка, исследование и создание типоразмерного ряда инновационных многоступенчатых синхронизированных малогабаритных коробок передач с автоматизированным управлением для семейства перспективных грузовых автомобилей»;

– ЕЗН-601 «Разработка теории безопасных наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов на основе интеллектуальных систем управления»;

– №П2094 «Теоретические основы процессов взаимодействия двигателей транспортных средств с опорной поверхностью и оценка энергоэффективности двигателей в условиях бездорожья»;

– №14.740.11.0403 «Создание шасси экологически безопасных городских электромобилей с перспективными источниками и накопителями энергии»;

– №02.740.11.5112 «Исследование трансмиссии грузового автомобиля с мехатронной системой управления»;

– №П1624 «Концепция создания интеллектуальных систем, обеспечивающих подвижность транспортных средств в условиях бездорожья»;

– № 12-08-10004-к «Организация и проведение полевых работ по определению характеристик микропрофиля дорог, предназначенных для движения транспортно-технологических машин»;

– № 14.124.13.1869-МК «Разработка метода повышения эффективности использования транспортно-технологических машин в зимний период на основании экспериментально-теоретических исследований».

### Библиографический список

1. Математическая модель комплексной оценки подвижности машин высокой проходимости. SAE Prepr., s. a., № 740426, 24 pp. [http://btvt.narod.ru/4/mat\\_proxod.htm](http://btvt.narod.ru/4/mat_proxod.htm)

2. **Барсов, И.П.** Строительные машины и их эксплуатация / И.П. Барсов, А.П. Станковский. – М.: Стройиздат, 1971. С. 368.
3. **Чобиток, В. В.** Проект отчета НИР «Бегун». Разработка методики оценки подвижности ВГМ. — К.: КТЦ, 1997. Доступ с интернет-проекта Чобитка Василия «Бронесайт» <http://armor.kiev.ua/>
4. Подвижность танков. Научно-метод. сборник, НИЛ-2, 1979 г. Доступ с интернет-проекта Чобитка Василия «Бронесайт» <http://armor.kiev.ua/>
5. **Чобиток, В.А.** Теория движения танков и БМП: учебник / В.А. Чобиток. – М.: Воениздат, 1984.
6. ГОСТ. Подвижность военно-гусеничных машин (ВГМ). Термины и определения (Проект) / Тема 44.1-1.6.58.80. Уточненная редакция, 1980.
7. **Беляков, В.В.** Оценка подвижности транспортно-технологических систем // «АВТО-НН-2000» (27-29 июня 2000 г): материалы международной научно-технической конференции / НГТУ. – Н. Новгород, 2000. С. 339-357.
8. **Беляков, В.В.** Управление подвижностью транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // «АВТО-НН-2000» (27-29 июня 2000 г): материалы международной научно-технической конференции / НГТУ. – Н. Новгород, 2000. С. 392-396.
9. **Беляков, В.В.** Решение задачи оценки подвижности автотракторной техники с помощью многокритериальной оптимизации / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева, В.И. Сагунов // «Информационные системы и технологии» (ИСТ-2001): тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции посвященной 65-летию факультета информационных систем и технологий НГТУ Н.Новгород 20 апреля 2001 г. / НГТУ. – Н. Новгород, 2001. С. 167-168.
10. **Беляков, В.В.** Многокритериальная оптимизация в задачах подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем: учеб. пособие / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева, В.И. Сагунов / НГТУ. – Н.Новгород, 2001. – 271 с.
11. **Беляков, В.В.** Многокритериальная оценка подвижности автотракторной техники / В.В.Беляков // ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2001: тр. международной научно-технической конференции, 27-29 июня 2001 г. / СПбГТУ. – СПб., 2001. С. 95-99.
12. **Беляков, В.В.** Четыре многокритериальных задачи для оценки подвижности автотракторной техники / В.В. Беляков, М.Е.Бушуева, В.И. Сагунов // Системы обработки информации и управления: межвуз. сб. науч. тр. / НГТУ. – Н. Новгород, 2001. Вып. 8. С. 106-113.
13. **Беляков, В.В.** Оценка подвижности транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, Е.Ю. Голышев // НГТУ, Н.Новгород, 2002. Деп. в ВИНТИ 10.01.02. №28-В 2002.
14. **Беляков, В.В.** Оценка подвижности транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, М.Е.Бушуева, Е.Ю. Голышев // Проблемы качества и эксплуатации автотракторных средств: материалы II международной научно-технической конференции (21-23 мая 2002 г.) / ПГАСА. – Пенза, 2002. Ч. 1. С. 23-31.
15. **Беляков, В.В.** Оценка подвижности транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, М.Е.Бушуева, Е.Ю. Голышев // Колесные машины: сб. тр. / МГТУ им Н.Э. Баумана. – М., 2003. С. 29-30.
16. **Беляков В.В., Бушуева М.Е.** Диагностика сложных технических систем // Труды 1-го рабочего совещания по проекту НАТО SfP-973799 Semiconductors «Разработка радиационно стойких полупроводниковых приборов для систем связи и прецизионных измерений с использованием шумового анализа», апрель 2001 г. Н.Новгород: (ННГУ ил. Н.И.Лобачевского.) ТАЛАМ,2002. С.63-99 (ISBN 5-93496-012-1)
17. **Беляков, В.В.** Многокритериальная оптимизация контролепригодности сложных систем / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева // Разработка радиационно стойких полупроводниковых приборов для систем связи и прецизионных измерений с использованием шумового анализа, апрель 2002 г.: тр. 2-го рабочего совещания по проекту НАТО SfP-973799 Semiconductors / ННГУ им. Лобачевского. – Н.Новгород: ТАЛАМ, 2002. С. 74-84.
18. **Беляков, В.В.** Многокритериальная оптимизация контролепригодности диагностических систем в условиях нечеткого состояния технических объектов / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева // «Разработка радиационно стойких полупроводниковых приборов для систем связи и прецизионных измерений с использованием шумового анализа», апрель 2003 г.: тр. 3-го рабочего совещания по проекту НАТО SfP-973799 Semiconductors / ННГУ им. Лобачевского. – Н.Новгород: ТАЛАМ, 2003. С. 102-115.
19. **Беляков, В.В.** Подвижность и конкурентоспособность транспортно-технологических машин

- // Известия Академии инженерных наук РФ им. акад. А.М. Прохорова. Транспортно-технологические машины и комплексы / под ред. Ю.В. Гуляева. – Москва – Н. Новгород: НГТУ, 2003. Т. 5. С3-25.
20. Вездеходные транспортно-технологические машины. Основы теории движения. Научно-техническое издание: монография / под. общ. ред. В.В. Белякова и А.П. Куляшова. – Н. Новгород: ТАЛАН, 2004. – 961 с.
  21. **Беляков, В.В.** Подвижность и диагностика автотракторной техники // Известия Академии инженерных наук РФ им. акад. А.М. Прохорова. Транспортно-технологические машины и комплексы / под ред. Ю.В. Гуляева. – Москва – Н. Новгород: ТАЛАН, 2004. Т. 8. С. 3-24.
  22. **Беляков, В.В.** Транспортно-технологические проблемы Северного Кавказа: учеб. пособие / В.В. Беляков, У.Ш. Вахидов, Ю.И. Молев / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2009. – 330 с.
  23. **Барахтанов, Л.В.** Экспериментально-теоретические исследования опорной проходимости многоосных колесных машин / Л.В. Барахтанов [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. – 2012. №3. С. 162-170.
  24. **Барахтанов, Л.В.** Экспериментальные исследования поворота многоосных колесных машин / Л.В. Барахтанов [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. 2012. №4 С. 175-181.
  25. **Беляков, В.В.** Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных средств: дис...док.тех.наук: 05.05.03 / Беляков В.В. – Нижний Новгород 1999. – 485 с.
  26. **Беляков, В.В.** Оценка эффективности специальных транспортных средств при движении по снегу / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 2 (95). С. 156-166.
  27. **Беляков, В.В.** Подвижность специальных транспортных средств по дорогам типа «stone-road» / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. №1. С. 143-151.
  28. **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. 2011. №7. С. 24-26.
  29. **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](http://www.science-education.ru/103-6376) (дата обращения: 05.06.2012).
  30. **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.
  31. **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](http://www.science-education.ru/106-7882) (дата обращения: 24.12.2012).
  32. **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.
  33. **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.
  34. **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.
  35. **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 / Гончаров К.О. – Н. Новгород, 2011. – 263 с.
  36. **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.
  37. **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.
  38. **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](http://www.science-education.ru/105-6927) (дата обращения: 17.09.2012).

39. **Зезюлин, Д.В.** Разработка методики выбора конструкционных параметров двигателей, обеспечивающих эффективность движения колесных машин по снегу: дисс... канд. техн. наук: 05.05.03 / Зезюлин Д.В. – Н. Новгород, 2013. – 218 с.
40. **Зезюлин, Д.В.** Расчетный анализ влияния параметров двигателей 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.
41. **Макаров, В.С.** Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу: дисс... канд. техн. наук: 05.05.03 / Макаров В.С. – Н. Новгород, 2009. – 161 с.
42. **Макаров, В.С.** Определение характеристик микропрофиля дорог, предназначенных для движения транспортно-технологических машин / В.С. Макаров [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. <http://www.science-education.ru/105-7111> (дата обращения: 05.10.2012).
43. **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).
44. **Макаров, В.С.** Оценка эффективности движения колесных машин на основании статистических характеристик снежного покрова / В.С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексева. 2013. №1. С. 150-157.
45. **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.
46. **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.
47. **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. Алексева. – 2013. №1. С. 155-160.

*Дата поступления  
в редакцию 15.07.2013*

**V.V. Belyakov<sup>1</sup>, A.M. Belyaev<sup>5</sup>, M.E. Bushueva<sup>1</sup>, U.Sh. Vahidov<sup>1</sup>,  
K.O. Goncharov<sup>1</sup>, D.V. Zezyulin<sup>1</sup>, V.E. Kolotilin<sup>2</sup>, K.Y. Leliovsky<sup>1</sup>,  
V.S. Makarov<sup>1</sup>, A.V. Papunin<sup>4</sup>, A.V. Tumasov<sup>3</sup>, A.V. Fedorenko<sup>1</sup>**

## **THE CONCEPTION OF MOVABILITY OF GROUND TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL VEHICLES**

The Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alekseev,  
LLC «InTech»<sup>2</sup>, LLC SPC «DST»<sup>3</sup>, LLC «Managing Company «GAZ Group»<sup>4</sup>,  
LLC «Avtol»<sup>5</sup>

**Subject/topic/purpose:** Define the movability of mobile land-based transport vehicles and transport-technological complexes.

**Methodology of work:** An overview and analysis of existing studies on the definition of the concept of movability vehicles.

**Results/application:** Based on the analytical review formulated the concept of movability. Movability in the context of this article defines a generalized characterization of structural and operational features of land mobile systems and complexes. Together with economic, ergonomic and environmental indicators of quality of these machines mobility characterizes the competitiveness of objects as a commodity.

In the movability is seen as a set of tasks: maintaining exchange rate targeting, speed, survivability and addressing critical situations (slipping and blocking propulsion, stability and rollover terrain vehicles in general).

**Findings:** The article presents a conceptual paradigm to warrant the concept of movability of mobile ground-based transport vehicles and transport-technological complexes.

*Key words:* movability, mobility, survivability, dynamic adaptability, service conditions, passing ability.