

УДК 629.373.3

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЛАНЕТАРНО-КАТКОВОГО ДВИЖИТЕЛЯ И РОТОРНО-ВИНТОВОГО ДВИЖИТЕЛЯ

**Казakov С.Е., Вахонин А.А., Шапкин В.А., Согин А.В.**

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,  
Нижний Новгород, e-mail: kazakov.zip@yandex.ru*

В отличие от дорожных автомобилей для автомобилей высокой проходимости (АВП) еще не отработаны общепринятые классификационные признаки и оценочные показатели, которые могли бы стать основой для построения четкой классификации и принятия единых критериев оценки конструкций. В связи с этим в каждом конкретном случае приходится анализировать назначение АВП, специфику выполняемых ими задач, грунтовые условия, конструктивные и технологические особенности лучших образцов машин и на основе синтеза результатов экспериментальных и аналитических исследований вырабатывать решение. Таким образом, мировой опыт развития АВП показал, что следующая ступень повышения проходимости машин может быть достигнута только при создании принципиально новых схем шасси и движителей – комбинации элементов различных механизмов передвижения и движителей.

**Ключевые слова:** проходимость, вездеход, болотистая местность, шнекоход, бездорожье, грунтозацепы

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PLANETARY SCREW PROPELLER AND ROTARY-SCREW PROPELLER

**Kazakov S.E., Vakhonin A.A., Shapkin V.A., Sogin A.V.**

*The Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod,  
e-mail: kazakov.zip@yandex.ru*

Unlike road cars to all-terrain vehicles (AVP) has not yet worked out the conventional classification features and performance indicators, which could be the basis for the construction of a clear classification and adoption of uniform criteria for evaluating designs. In this regard, in each particular case it is necessary to analyze the purpose of the AVP, the specifics of the tasks performed, soil conditions, structural and technological features of the best examples of machines and on the basis of the synthesis of the results of experimental and analytical studies to produce a solution. Thus, the global experience of AVP indicated that the next step in improving the off machines can be achieved only if the creation of new schemes chassis and propulsion – a combination of elements of various mechanisms of movement and propulsion.

**Keywords:** cross-country, all-terrain vehicle, moorland, shnekohod, off-road, lugs

Анализ современных транспортно-технологических средств (ТТС) позволяет заметить, что в большинстве подобных мобильных систем используются традиционные типы движителей – колесный и гусеничный.

Данные движители нашли широкое и повсеместное применение при создании транспортных и вездеходных машин и обеспечивают хорошую проходимость в условиях города и на относительно прочных основаниях.

Однако при всех своих преимуществах подобные машины не обеспечивают надежного передвижения в таких тяжелых грунтовых условиях, как сильно переувлажненные болотистые участки, водные преграды, особенно в период ледохода, когда проходимость наиболее ограничена, и, конечно же, глубокий снег [3].

Проходимость (вездеходность) транспортного средства – это способность его безостановочного и по возможности быстрого передвижения по плохим дорогам и в условиях бездорожья.

Прежде всего, вездеходность определяется конструктивными и тягово-сцепными

параметрами машины. Также на проходимость оказывают влияние маневренность, устойчивость, плавность хода и качество подвески. Улучшение проходимости имеет большое значение, так как в сложных условиях бездорожья производительность транспортного средства определяется главным образом степенью его вездеходности.

### Основные характеристики

Наибольший интерес с точки зрения разработок и систематизации теоретических основ проектирования и эксплуатации автомобилей высокой проходимости (АВП) представляют следующие классы движителей:

- а) планетарно-катковые (ПКАД);
- б) роторно-винтовые (РВД).

Попытки сочетания лучших качеств различных типов движителей обеспечили создание оригинальных конструкций движителей и АВП. Так появился планетарно-катковый движитель, сочетающий элементы катка, гусеницы и лыжи [4]. Наиболее апробированным и эффективным считается движитель с пневмокатковой цепью, уста-

новленный впервые на автомобиле «Аэрролл» (рис. 1). Автомобили с планетарно-катковым двигателем нашли применение в ряде стран: США, Швеции и др. В СССР также изготовлены и испытаны опытные образцы. Испытания такой техники показали ее универсальность и особо высокую проходимость. Так, на шоссе скорость машин достигает 5–10 м/с и ограничивается только галопированием из-за отсутствия подвески. В то же время машины перемещаются по любому типу болот, глубокому снегу, а на плаву развивают скорость 1,5–3 м/с.



Рис. 1. «Аэрролл» – вездеход XM-769.  
США, 1965 год

Примерно в это же время был создан еще один тип оригинального двигателя – планетарно-колесный. Этот двигатель установлен на автомобиле «Терра-Стар» [2]. В данном случае конструкторы отказались от идеи обеспечения высокой проходимости только путем снижения давления на опорную поверхность, приняв направление комбинирования и автоматического изменения принципа движения. Этот двигатель на относительно твердых опорных поверхностях работает как обычный колесный, а на слабых – как шагающий. На плаву же одиночные колеса выполняют роль плиц, обеспечивая необходимую скорость движения автомобиля по воде без вспомогательного водяного двигателя. Основным недостатком планетарно-колесного двигателя является неравномерность движения, обуславливающая непрерывные колебания корпуса машины в диапазоне частот 2–5 Гц.

Кроме усовершенствования традиционного гусеничного двигателя, поиск эффективного универсального двигателя для вездеходных машин ведется и по другому направлению. Одним из наиболее перспективных двигателей для вездеходных машин-амфибий является роторно-винтовой двигатель (РВД), теория и практика кон-

струирования которого представлена в достаточном объеме. Обладая относительно простой конструкцией, двигатель обеспечивает высокую проходимость транспортного средства на заснеженных и обледенелых поверхностях, заболоченных грунтах и воде [1, 5].

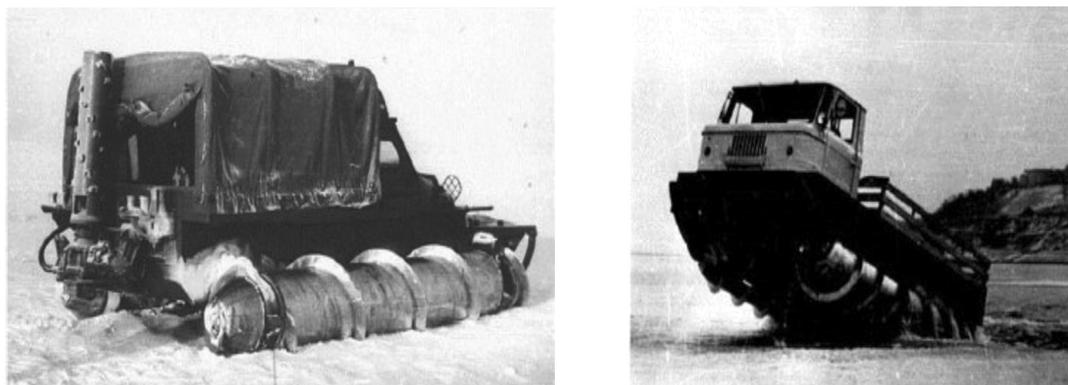
Впервые подобный тип двигателя был спроектирован и испытан американским инженером Дж. Стизенсом в 1804 г. в качестве двигателя парохода. Позднее, в 1900 г., русскому изобретателю Федору Дергуну был выдан патент на моторные сани, приводимые в движение тяговыми винтами. Вслед за этим во Франции и Швеции появляются шнековые двигатели, приспособленные к автомобилям и предназначенные для обеспечения им возможности передвижения по снегу.

В середине 20-х годов в Советском Союзе группа ученых под руководством д.т.н. А.А. Крживицкого провела испытания различных снегоходных машин, в числе которых были и две машины с РВД – мотосани «Мотобоб» (диаметр барабанов 400 мм, угол подъема винтовой линии 40°) и трактор «Фордзон» (диаметр барабанов 700 мм, углом наклона винтовой линии зацепов 28°) [2, 6].

Несмотря на несовершенство конструкций, плохую устойчивость, управляемость, проходимость, низкую надежность и долговечность механизмов, РВД снегоходы показали высокие тяговые и экономические качества.

В Горьковском политехническом институте им. А.А. Жданова (ныне Нижегородский государственный технический университет) с 1964 г. под руководством д.т.н. А.Ф. Николаева проводится исследовательская работа по созданию машин на роторно-винтовом двигателе. Исследования проводятся в основном в двух направлениях – создание легких транспортных роторно-винтовых вездеходов и создание базовых рабочих машин различного назначения (ледорезные, мелиоративные, полярные и т.д.). Там же, в опытно-конструкторском бюро РАЛСНЕМГ и в Отраслевой научно-исследовательской лаборатории вездеходных машин, было изготовлено несколько моделей серии ГПИ (рис. 2) на РВД различных назначений.

Универсальность РВД состоит в том, что, сочетая в себе качества гидравлического и сухопутного двигателей, они могут с достаточной эффективностью работать на сильно переувлажненных грунтах, снегу, льду, воде и на опорных основаниях, являющихся комбинацией перечисленных сред.



а

б

Рис. 2. а) ГПИ-66; б) ГПИ-72

Принцип движения ТТС на РВД имеет много достоинств, однако нельзя считать, что машины с РВД являются универсальным средством передвижения в труднопроходимых районах. Так, несмотря на большое количество успешных результатов, полученных при испытаниях образцов машин с РВД, в настоящее время в мире серийно (причем мелкосерийно) производятся только две модели РВД машин – MudMaster австралийской компании Residue Solutions и MS Amfirol (Eco Dredging Ltd., Нидерланды) [7].

Известно, что основным недостатком РВД является практически полная непригодность передвижения по твердым основаниям – прежде всего бетону, асфальтовому полотну дороги и т.д. В связи с этим возникает необходимость организации транспортировки роторно-винтовых машин к месту производства работ. Между тем у РВД существуют и другие недостатки, основным из которых является низкая адаптивность данного типа движителя. Так, отмеченное выше многообразие свойств и конструктивных решений не позволяет реализовать преимущества РВД во всех режимах движения на различных подстилающих поверхностях в силу ограничений, наложенных на конкретно спроектированное шасси (например, постоянная высота и угла наклона витков). Уже на этапе проектирования разработчикам следует придерживаться установленных и рекомендованных оптимальных углов наклона винтовых линий на разных грунтах для относительно скоростных транспортных машин в диапазоне 26–45 градусов и технологических 5–25 градусов [4].

### Сравнительный анализ

#### *По проходимости на мягких грунтах*

Автомобили высокой проходимости с роторно-винтовыми двигателями при создании опоры на мягких и мягкотекучих грунтах оставляют непрерывный след-колею, а планетарно-катковые – отдельные отпечатки. Во всех случаях процессы образования опоры в дальнейшем будем называть колееобразованием. Характер колееобразования при движении ПКАД и РВД на глубоком снежном покрове обусловлен, как и у колеса, их кинематикой. Однако в отличие от плоского деформатора каток или ротор внедряются в снег аналогично тупому клину, вследствие чего преобладают деформации уплотнения и выжимания.

В связи с наличием конусных наконечников у РВД последний при движении как бы всплывает на поверхность грунта или снега, одновременно уплотняя его. Образование колеи происходит под влиянием двух основных факторов – осадки барабана РВД под действием вертикальной нагрузки и бульдозерного сдвига грунта конусной поверхностью. Характер процессов колееобразования движителями ПКАД и РВД на болотных мягкотекучих, текучих и жидких грунтах зависит не только от давлений на контактной поверхности и несущей способности грунта, но и от выжимаемого движителем объема грунта. В связи с этим на жидких грунтах погружение движителя достаточно точно определяется законом Архимеда.

#### *По сцеплению движителей с грунтом*

Анализ экспериментальных данных дает основание считать, что одной схемой невозможно охарактеризовать взаимодей-

ствие с грунтом. Если мягкий грунт имеет достаточную плотность, то движение ПКАД происходит с перекатыванием катков. Процесс возникновения реакции сцепления с грунтом в этом случае протекает так же, как у колеса. Если же грунт слабый, то катки глубоко погружаются и уплотняют его во всех направлениях. Поэтому при появлении горизонтальной сдвигающей силы грунт, контактирующий с одиночным двигателем, находится уже в уплотненном состоянии и способен воспринимать определенные нагрузки без существенных горизонтальных деформаций. В связи с этим буксование ПКАД всегда сопровождается интенсивным выгребанием слабого грунта. Характер взаимодействия РВД с различными грунтами определяется трением металла о грунт и поведением массы грунта, заключенной между витками ротора. Поэтому взаимодействия РВД с грунтом целесообразно рассматривать при модельных исследованиях в лаборатории на грунтах, имеющих характерные консистенции. В начальный момент витки работают как грунтозацепы, но с увеличением буксования двигателя все межвитковое пространство покрывается слоем грунта до высоты витка. Объем прилипшей массы увеличивается в 2–3 раза от передних до задних витков. При полном буксовании РВД грунт покрывает все межвитковое пространство ротора, за исключением передних витков. При таком залипании витки не могут эффективно выполнять функции грунтозацепов. Если поверхность грунта покрыта даже небольшим слоем воды, то существенное залипание витков не наблюдается. При движении с малым буксованием наблюдается незначительное выгребание грунтовой массы. Сопоставляя рассмотренные поверхностные явления с теми, которые наблюдаются в реальных условиях работы РВД на переувлажненных грунтах, следует отметить такие особенности. Наличие растительного покрова у болотных грунтов значительно улучшает условия работы РВД на грунтах мягкой и мягкотекучей консистенции. Кроме того, элементы растительности способствуют самоочищению РВД при вращении. Поэтому при значительном растительном покрове движение РВД происходит как бы в своего рода грунтовой гайке по скользкой пленке.

Характер взаимодействия РВД со снегом зависит от силы тяги и величины буксования. При малом буксовании РВД движется, как винт в гайке. Витки

незначительно спрессовывают снег в направлении, противоположном движению, сила сцепления зависит от сопротивления снега горизонтальному спрессованию. При большом буксовании витки РВД настолько спрессовывают снег, что происходит сдвиг всей межвитковой массы снега по снегу.

Существенная разница в характере выгребания переувлажненного грунта и снега заключается в том, что в последнем случае из-за отсутствия текучести под РВД не происходит компенсация расхода массы снега, и он интенсивно погружается в снег. В связи с этим возникает необходимость изменения направления вращения роторов в зависимости от грунтовых условий.

### Выводы

Опытные данные свидетельствуют о том, что ПКАД и РВД наиболее эффективны на очень слабых грунтах и снеге, обладающих низкой несущей способностью и малым поверхностным трением. В ряде случаев ПКАД имеет несомненные преимущества перед РВД. На глубоком снежном покрове коэффициент сопротивления движению АВП с ПКАД и РВД фактически не зависит от его глубины и в основном определяется фрикционными свойствами снега. Несмотря на то, что коэффициент трения снега о металл барабана значительно меньше коэффициента трения катка о металл понтона, коэффициенты сопротивления движению ПКАД и РВД мало отличаются друг от друга. Это объясняется тем, что у ПКАД повышенное трение компенсируется малыми затратами энергии на образование отдельных отпечатков, а не непрерывной колеи, как у РВД.

### Список литературы

1. Белякова В.В., Куляшова А.П. Вездеходные транспортно-технологические машины. – Н. Новгород: ТАЛАН, 2004. – 960 с.
2. Бочаров Н.Ф., Гусев В.И., Семенов В.М. и др. Транспортные средства на высокоэластичных движителях. – М.: Машиностроение, 1974. – 208 с.
3. Донато И.О. [и др.]. Роторно-винтовые машины. Основы теории движения. – Н. Новгород: НПК, 2000. – 451 с.
4. Коширный Н.Ф. Технично-эксплуатационные свойства автомобилей высокой проходимости. – Киев: Издательство «Вища школа», 1981. – 11 с.
5. Ларин В.В. Теория движения полноприводных колесных машин. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 391 с.
6. Николаев И. Вместо гусениц-шнел // Моделист-конструктор. – 1981. – № 11. – С. 13–16.
7. Скоренко Т. Ввинчиваясь в грязь // Популярная механика. – 2011. – № 5(103). – С. 56–59.