

Турбоэлектрокомпрессор имеет три режима работы. В первом режиме, при избытке мощности турбины над потребной мощностью компрессора, обратимая электрическая машина работает в режиме генератора и заряжает аккумулятор автомобиля. Во втором режиме, при избытке мощности турбины над необходимой мощностью компрессора и при заряженном аккумуляторе, обратимая электрическая машина работает в режиме генератора и питает бортовую сеть автомобиля вместо штатного генератора. Особенность третьего режима – при недостатке мощности турбины для работы компрессора, обратимая электрическая машина работает в режиме двигателя и «подкручивает» компрессор за счет энергии аккумулятора.

Также полученную электрическую энергию из кинетической энергии выхлопных газов можно накапливать в аккумуляторных батареях или суперконденсаторах, а затем использовать для работы электротурбокомпрессора.

Использование электротурбокомпрессора и систем регенерации энергии выхлопных газов – это кардинальный способ повысить энергоэффективность силовой установки и сократить расход топлива в среднем на 10-15 % в зависимости от типа двигателя и топлива. С учетом прогнозов специалистов об использовании традиционных двигателей внутреннего сгорания еще как минимум лет двадцать, использование систем регенерации кинетической энергии выхлопных газов актуально как с экономической, так и экологической точки зрения.

### Литература

1. Патент РФ №2459097 «Электромеханическая система для двигателя внутреннего сгорания»
2. Патент US7891185; Deere & Company; Turbo-generator control with variable valve actuation.
3. Патент US7893554; Deere & Company; Turbo compounding system.
4. Патент US7950231; Deere & Company; Low emission turbo compound engine system.
5. Патент № 2010134216; Электро-турбокомпрессор.
6. Патент № 2216647; Turbocompressor.
7. Патент № 2427714; Turbo-electro-generator.
8. Патент № 2418957; Turbo-electro-generator.
9. <http://www.cpowert.com/products/tigers.htm>.
10. <http://www.cpowert.com/products/vtes.htm>.

### **Сравнительная оценка опорной проходимости автомобилей КамАЗ-4350, КамАЗ-43114 и Урал-4320-31 на сыпучем песке**

к.т.н. с.н.с. Острецов А.В., к.т.н. Есаков А.Е., д.т.н. проф. Шарипов В.М.  
Университет машиностроения  
(495) 223-05-23, доб. 1111, [avt@mami.ru](mailto:avt@mami.ru)

*Аннотация.* В статье приведены результаты экспериментальных исследований опорной проходимости автомобилей КамАЗ-4350, КамАЗ-43114 и Урал-4320-31 с шинами модели Кама-1260 на сухом сыпучем песке. Сравнительная оценка опорной проходимости проведена по основным показателям: удельной силе тяги на крюке, удельной силе сопротивления буксированию автомобиля, наибольшей скорости прямолинейного равномерного движения без нагрузки на крюке и наименьшему радиусу поворота автомобиля без потери проходимости.

*Ключевые слова:* полноприводный автомобиль, нагрузка на ось, система регулирования давления воздуха в шинах, опорная проходимость, удельная сила тяги на крюке автомобиля, удельная сила сопротивления буксированию, угол преодолеваемого подъёма, скорость движения, деформируемая опорная поверхность.

Тяговые и скоростные свойства автомобиля на деформируемой опорной поверхности и энергия, затрачиваемая на её деформирование и преодоление потерь в шинах, являются определяющими факторами опорной проходимости автомобиля. Соответствие нагрузочных

и размерных параметров шин характеристикам поверхности движения определяет потенциальные возможности опорной проходимости автомобиля.

Исследованию опорной проходимости различных колёсных машин посвящены работы [1-4].

Для каждого автомобиля в конкретных условиях движения показатели опорной проходимости зависят, при отсутствии прочих ограничений, от сцепных свойств шин с опорной поверхностью и потерь на её деформирование [4]. Чем лучше сцепные свойства шин и меньше потери на деформирование опорной поверхности, тем выше показатели опорной проходимости автомобиля. В наибольшей степени выполнение этих условий связано с особенностями конструкции шин (в первую очередь, с характеристиками их жёсткости) и возможностью снижения давления воздуха в них.

С целью сравнения опорной проходимости автомобилей КамАЗ-4350, КамАЗ-43114 и Урал-4320-31 на сухом сыпучем песке (влажность до 6 %, общая глубина залегания более 3 м) был выполнен комплекс экспериментальных исследований по методике, изложенной в ГОСТ Р В 52048-2003 [5].

Исследованиям подвергались автомобили с шинами модели Кама-1260 размерностью 425/85R21 (номинальная нагрузка на колесо – 29400 Н; наружный диаметр – 1260 мм; посадочный диаметр – 533 мм; ширина беговой дорожки – 380 мм) с регулируемым давлением воздуха и рисунком протектора повышенной проходимости [6]. Краткая техническая характеристика автомобилей приведена в таблице 1.

Таблица 1

#### Краткая техническая характеристика автомобилей

| Марка автомобиля (колесная формула) | Масса перевозимого груза, кг | Полная масса (распределение по осям), кг | Удельная мощность, кВт/т (л.с./т) | Шины, модель (минимальное давление воздуха в шинах, МПа) | Удельная нагруженность шин, передних / задних (средняя), т/м <sup>3</sup> |
|-------------------------------------|------------------------------|--|-----------------------------------|--|---|
| КамАЗ-4350 (4x4)                    | 4000                         | 11820 (5910/5910)                        | 14,9 (20,3)                       | 425/85R21, Кама-1260 (0,10)                              | 7,70/7,70 (7,70)  |
| КамАЗ-43114 (6x6)                   | 6000                         | 15450 (5380/10040)                       | 11,4 (15,5)                       |  | 6,84/6,57 (6,60)  |
| Урал-4320-31 (6x6)                  | 6000                         | 15520 (4850/10670)                       | 11,4 (15,5)                       |  | 6,32/6,96 (6,75)  |

В процессе исследований межосевые и межколёсные дифференциалы автомобилей были заблокированы.

Отдельные фрагменты экспериментальных исследований показаны на рисунках 1 и 2.

В процессе исследований с помощью подвижной лаборатории, оборудованной необходимыми тензоизмерительной и регистрирующей аппаратурой и приборами, определялись максимальная сила тяги  $P_{k\max}$  на крюке и сила  $P_{f\delta}$  сопротивления буксированию автомобилей.

Количественно опорная проходимость автомобилей оценивалась следующими показателями:

- наибольшей удельной силой тяги на крюке автомобиля

$$K_{T\max} = P_{k\max} / G_a,$$

где:  $G_a$  – эксплуатационный вес автомобиля;

- удельной силой сопротивления буксированию автомобиля

$$f_{\delta} = P_{f\delta} / G_a;$$

- наибольшей скоростью  $V_{a\max}$  прямолинейного равномерного движения автомобиля без нагрузки на крюке;

- наименьшим радиусом  $R_{min}$  поворота автомобиля без потери проходимости.



Рисунок 1. Определение наибольшей силы тяги на крюке автомобиля КамАЗ-4350



Рисунок 2. Определение силы сопротивления буксированию автомобиля Урал-4320-31

В таблице 2 и на рисунках 3 – 5 показано изменение показателей опорной проходимости автомобилей от величины давления воздуха в шинах.

Таблица 2

**Показатели опорной проходимости автомобилей**

| Марка автомобиля | $p_e$ , МПа | $K_{Tmax}$ | $V_{amax}$ , км/ч | $f_{\delta}$ | $R_{min}$ , м |
|------------------|-------------|------------|-------------------|--------------|---------------|
| КамАЗ-4350       | 0,40        | 0,025      | –                 | 0,170        | $\infty$      |
|                  | 0,30        | 0,092      | 17,1              | 0,102        | –             |
|                  | 0,20        | 0,152      | 20,9              | 0,076        | 11,3          |
|                  | 0,10        | 0,272      | 27,5              | 0,063        | 11,2          |
| КамАЗ-43114      | 0,40        | 0,045      | 14,5              | 0,183        | 13,5          |
|                  | 0,30        | 0,090      | 16,5              | 0,150        | 12,5          |
|                  | 0,20        | 0,144      | 22,5              | 0,114        | 11,5          |
|                  | 0,10        | 0,267      | 26,9              | 0,068        | 11,1          |
| Урал-4320-31     | 0,40        | 0,045      | 16,2              | 0,148        | 12,7          |
|                  | 0,30        | 0,091      | 19,7              | 0,122        | 12,5          |
|                  | 0,20        | 0,142      | 27,9              | 0,071        | 12,0          |
|                  | 0,10        | 0,277      | 30,0              | 0,060        | 11,3          |

Анализ полученных результатов экспериментальных исследований показал, что при движении по сухому сыпучему песку лучшие показатели опорной проходимости автомобили имеют при минимально допустимом давлении воздуха в шинах. Тяговые их показатели ограничиваются сцеплением колес с опорной поверхностью при любом давлении воздуха в шинах.

Наибольшую удельную силу тяги  $K_{Tmax} = 0,267...0,277$  автомобили развивали при минимально допустимом давлении воздуха в шинах  $p_e = 0,10$  МПа (рисунок 3), что выше требу-

емой ГОСТ Р В 52395-2005 (не менее 0,250). Автомобиль Урал-4320-31 по тягово-цепным свойствам лишь незначительно превосходил автомобили КамАЗ-4350 и КамАЗ-43114 (на 1,8 и 3,6 %, соответственно).

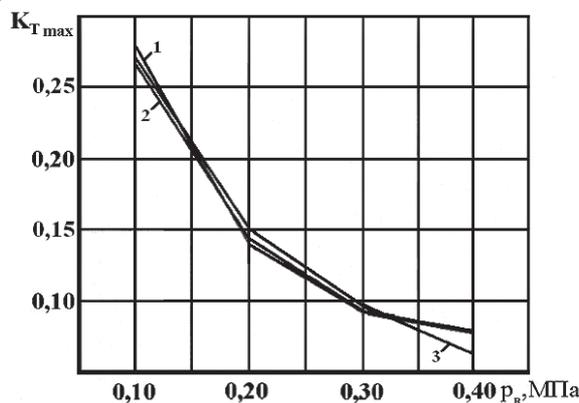


Рисунок 3. Зависимость удельной силы тяги на крюке от давления воздуха в шинах автомобилей: 1 – Урал-4320-31; 2 – КамАЗ-43114; 3 – КамАЗ-4350

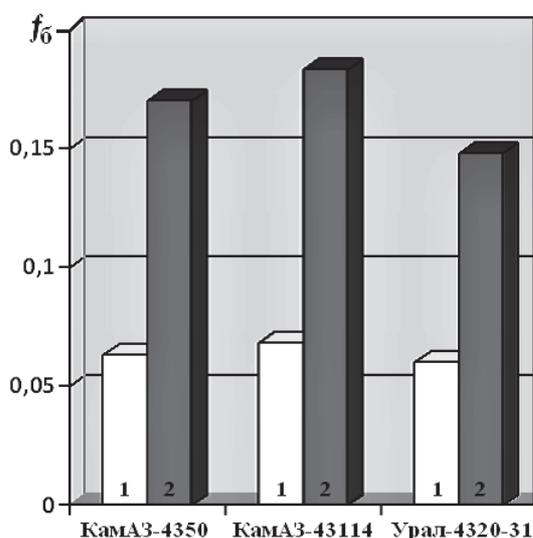


Рисунок 4. Показатели удельного сопротивления буксированию автомобилей: 1 –  $p_B = 0,1$  МПа; 2 –  $p_B = 0,4$  МПа

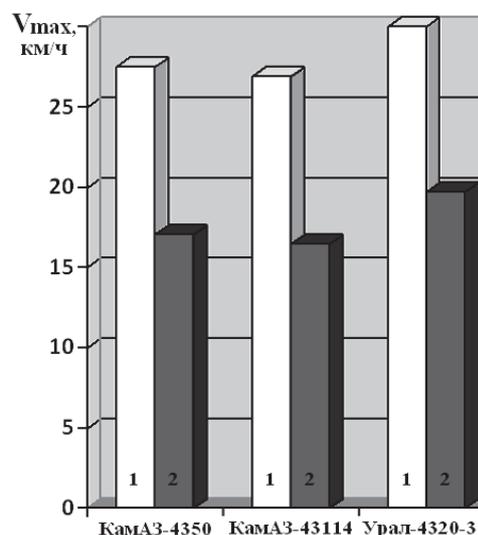


Рисунок 5. Показатели наибольшей скорости движения автомобилей: 1 –  $p_B = 0,1$  МПа; 2 –  $p_B = 0,4$  МПа

При увеличении давления воздуха в шинах значения удельной силы тяги на крюке значительно снижаются и приближаются к нулю при величинах давления, близкого к номинальному.

Полученные наибольшие удельные показатели тягово-цепных свойств позволяют автомобилям уверенно двигаться не только по горизонтальным участкам сухого сыпучего песка, но и, учитывая, что наибольший угол преодолеваемого подъёма

$$\alpha_{\max} \approx \arctg(K_{T \max}),$$

преодолевать подъёмы крутизной до  $15^0$ .

Наименьшие величины удельного сопротивления буксированию автомобилей  $f_0 = 0,060 \dots 0,068$  также были получены при минимально допустимом давлении воздуха в шинах  $p_B = 0,10$  МПа (рисунок 4). У автомобиля Урал-4320-31 этот показатель был несколько ниже, чем у автомобилей КамАЗ-4350 и КамАЗ-43114 (на 5 и 13 %, соответственно).

С увеличением давления воздуха в шинах у всех автомобилей увеличивалось и удельное сопротивление буксированию, которое при номинальном давлении воздуха в шинах возросло в 2,5...2,7 раза.

Поскольку потери (сопротивление) на буксирование автомобиля в определённой степени характеризуют и потери (сопротивление) на качение автомобиля, то очевидно, что мень-

шие значения этих потерь способствуют достижению более высокой скорости движения. Кроме того, наибольшая скорость движения автомобиля определяется его удельной мощностью и передаточными числами трансмиссии. Закономерно, что наибольшую скорость движения развивал автомобиль Урал-4320-31 (30,0 км/ч). Автомобили КамАЗ-4350 (27,5 км/ч) и КамАЗ-43114 (26,9 км/ч) уступали ему по этому показателю.

В результате экспериментальных исследований было установлено, что при минимально допустимом давлении воздуха в шинах проходимость автомобилей не ограничивалась радиусом их поворота (при движении на повороте управляемые колеса поворачивались до упора в ограничители), то есть они могли уверенно маневрировать на сухом сыпучем песке. Однако с увеличением давления воздуха в шинах до номинального значения, проходимость автомобилей при движении с минимальным радиусом заметно ухудшалась или вообще происходила потеря проходимости при повороте с любым радиусом, как, например, у автомобиля КамАЗ-4350.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования опорной проходимости полноприводных автомобилей КамАЗ-4350, КамАЗ-43114 и Урал 4320-31 на сухом сыпучем песке показали следующее [1, 3]:

- лучшей опорной проходимостью среди подвергавшихся экспериментальным исследованиям автомобилей обладает Урал-4320-31;
- регулирование давления воздуха в шинах автомобилей остаётся наиболее эффективным способом повышения опорной проходимости автомобилей;
- наибольшие значения удельной силы тяги (0,267...0,277) и наименьшие значения удельного сопротивления буксированию (0,060...0,068) достигались при минимально допустимом давлении воздуха в шинах (0,01 МПа) и ограничивались сцепными свойствами с опорной поверхностью. Такие значения позволяют автомобилям не только уверенно двигаться ( $V_{a \max} = 27...30$  км/ч) и маневрировать по сухому сыпучему песку, но и преодолевать подъёмы крутизной до  $15^{\circ}$ ;
- у всех автомобилей средняя удельная нагруженность шин модели Кама-1260 по объёму (6,60...7,70 т/м<sup>3</sup>), которая оказывает определяющее влияние на показатели их опорной проходимости, не превышала допустимой для шин радиальной конструкции (8,0 т/м<sup>3</sup>).

#### Литература

1. Порядкин В.И., Годжаев З.А. Моделирование взаимодействия высокоэластичной шины с неровностью дороги // Тракторы и сельхозмашины, 2014, №1. - С. 16-18.
2. Котляренко В.И., Гончаренко С.В., Годжаев З.А. Шина сверхнизкого давления - оптимальный движитель для транспортных средств на слабонесущих грунтах // Тракторы и сельхозмашины, 2014, №2. - С. 17-21.
3. Мурог И.А., Калугин А.А. Метод снижения буксования колесного пневматического движителя // Тракторы и сельхозмашины, 2013, №4. – С. 36-38.
4. Оценка и выбор пневматических шин регулируемого давления для армейских автомобилей / В.Н. Абрамов, М.П. Чистов, И.В. Веселов, А.А. Колтуков; Под ред. В.В. Шипилова. – Бронницы: ФГУП 21 НИИИ МО РФ, 2006. – 223 с.
5. ГОСТ Р В 52048-2003. Автомобили многоцелевого назначения. Параметры проходимости и методы их определения. – М.: Издательство стандартов, 2003.
6. ГОСТ Р В 52395-2005. Шины пневматические с регулируемым давлением для военной техники. – М.: Издательство стандартов, 2005.