

Использование выхлопных газов ДВС для разбрасывания сыпучих материалов под колёса технологических и транспортных машин

Ю.Г. Горшков, д.т.н., профессор, С.В. Золотых, к.т.н., А.А. Калугин, к.т.н., ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ

Основные транспортные и технологические операции в сельскохозяйственном производстве выполняются колёсными машинами. Это связано не только с их относительно высокими скоростями движения, но и с лучшей маневренностью, чем, например, гусеничных машин [1–3]. Как правило, колёсные машины, работающие в сельском хозяйстве, оборудованы пневматическими шинами различного назначения [2–5], взаимодействующими с поверхностями высокой несущей способности (автомобильные и тракторные дороги) и дорогами с низкими сцепными качествами (глубокий снег, переувлажнённые грунтовые и полевые дороги, скользкие поверхности, заболоченные участки, целина, пахота, спуски, подъёмы и др.). Указанные признаки бездорожья могут оказать значительное влияние на эффективность работы колёсных машин (скорость движения, безопасность выполнения транспортно-технологических операций, топливную экономичность и др.).

Существует определённое количество способов и средств повышения тягово-сцепных свойств колёсного транспорта при движении по бездорожью и скользким дорогам: централизованная подкачка и применение специальных шин, конструкции самоблокирующихся дифференциалов, увеличение числа ведущих осей, эксплуатация цепей и

шипов противоскольжения, траковых устройств и др. [1, 2, 6, 7]. Средний процент использования колёсных машин в сельскохозяйственном производстве на различных несущих поверхностях и оборудование последних основными типами стандартных шин приведены на структурной схеме (рис. 1) [2]. Многие из перечисленных устройств требуют изменения конструкции отдельных узлов и механизмов трансмиссии, ходовой части, что весьма нерационально для сельскохозяйственных предприятий.

Другие типы устройств, например колодки, могут быть массой до 170 кг [8], что зачастую приводит к невозможности их монтажа в полевых условиях. Применение цепей противоскольжения сопровождается шумом, а также износом звеньев, ведущим к деформации и разрушению протектора и боковины шины. Отдельные устройства могут быть использованы только лишь для частных случаев движения при преодолении труднопроходимых участков, после чего они снимаются для последующего движения по твёрдой опорной поверхности.

Подсыпка сыпучих материалов при движении машины по скользким поверхностям может быть осуществлена крыльчатками, разбрасывающими дисками, шнеками и т.п., которые приводятся в действие сжатым воздухом, электродвигателем, механическими звеньями, ременными передачами и др. с использованием при этом части мощности ДВС [2, 4].

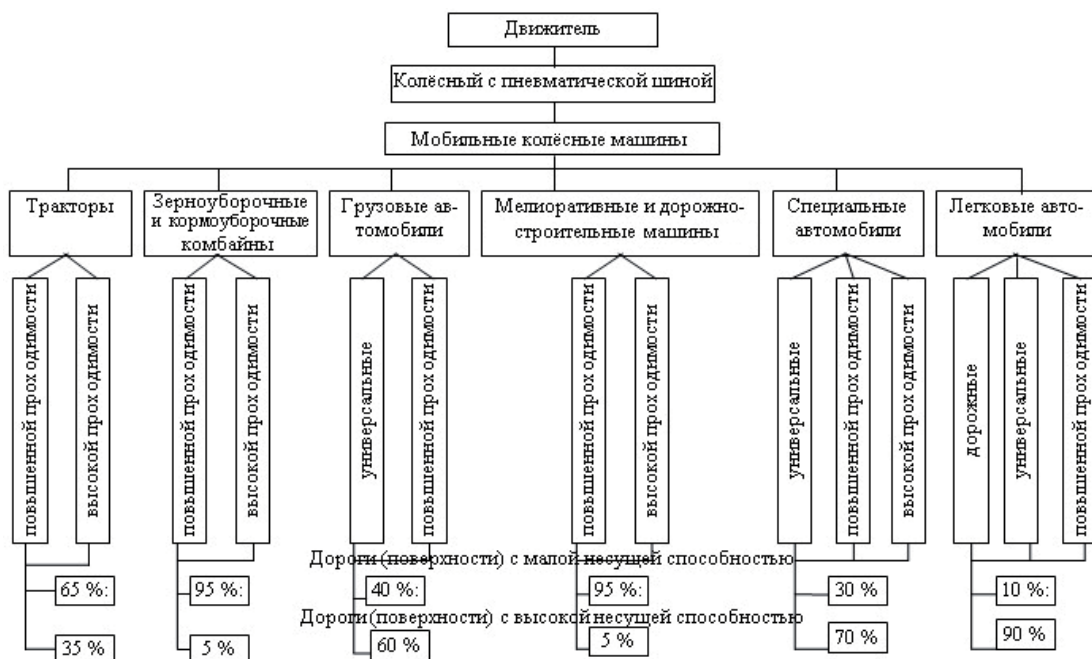


Рис. 1 – Основные типы пневматических колёсных движителей мобильных машин, работающих в сельском хозяйстве, и количественное распределение их применимости в сельском хозяйстве

Известно, что выхлопные газы ДВС при выходе в атмосферу обладают достаточной энергией, способной произвести определённую работу (подогрев стенок, потолков, полов салона транспортного средства, очистка топливных баков от паров бензина и дизельного топлива, частичный нагрев сосудов различных устройств и др.). Авторами статьи предлагается приводить во вращение специальную турбину с разбрасывающим диском, используя энергию выхлопных газов. При этом будет осуществляться подача сыпучего материала под ведущие колёса транспортного средства для улучшения сцепных качеств беговой дорожки шины с поверхностью качения. На рисунке 2 представлен общий вид системы, установленной на грузовом автомобиле ЗИЛ-4331, а на рисунке 3 приведена общая принципиальная схема устройства.

Устройство оснащено бункером 1 для хранения сыпучего материала 4 (песок, щебень, гравий и др.), в днище которого имеются окна для регулирования объёма подачи сыпучего материала. Внутри бункера установлен ворошитель 2 для перемешивания сыпучего материала. На общем с ворошителем валу установлен разбрасывающий диск 6. Для непосредственной подачи сыпучего материала под ведущие колёса машины в конструкции устройства предусмотрен специальный направляющий жёлоб 5. Привод разбрасывающего диска и ворошителя осуществляется от турбины 7, работающей от выхлопных газов, проходящих через газопровод 7. Бункеры с сыпучим материалом помещаются в нижней части кузова машины вблизи от ведущих колёс путём крепления на салазках 3 и фиксируются замковыми устройствами.

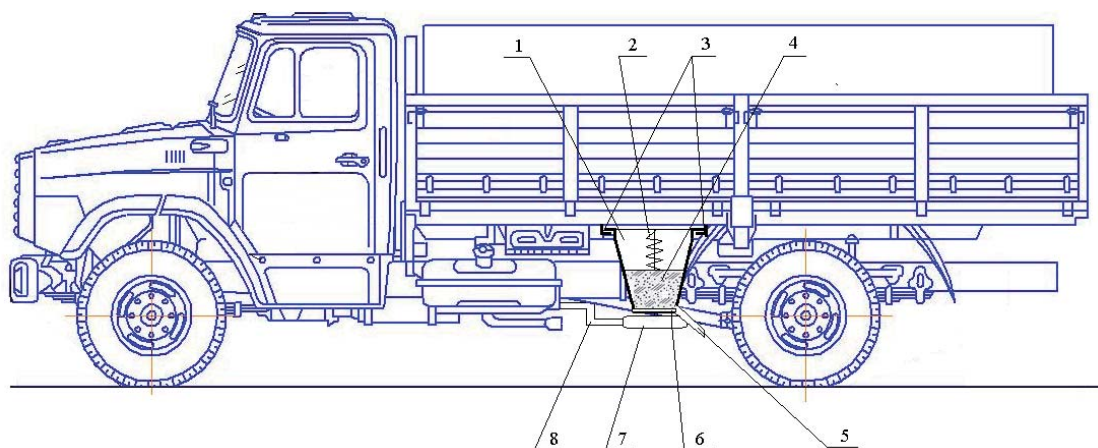


Рис. 2 – Общий вид устройства, установленного на грузовом автомобиле ЗИЛ-4331:

1 – бункер для сыпучего материала; 2 – ворошитель сыпучего материала; 3 – салазки и замковые крепления для установки бункера; 4 – сыпучий материал (песок, щебень, гравий и др.); 5 – направляющий жёлоб; 6 – разбрасывающий диск; 7 – турбина; 8 – гофрированный газопровод с армированной сеткой для подачи выхлопных газов

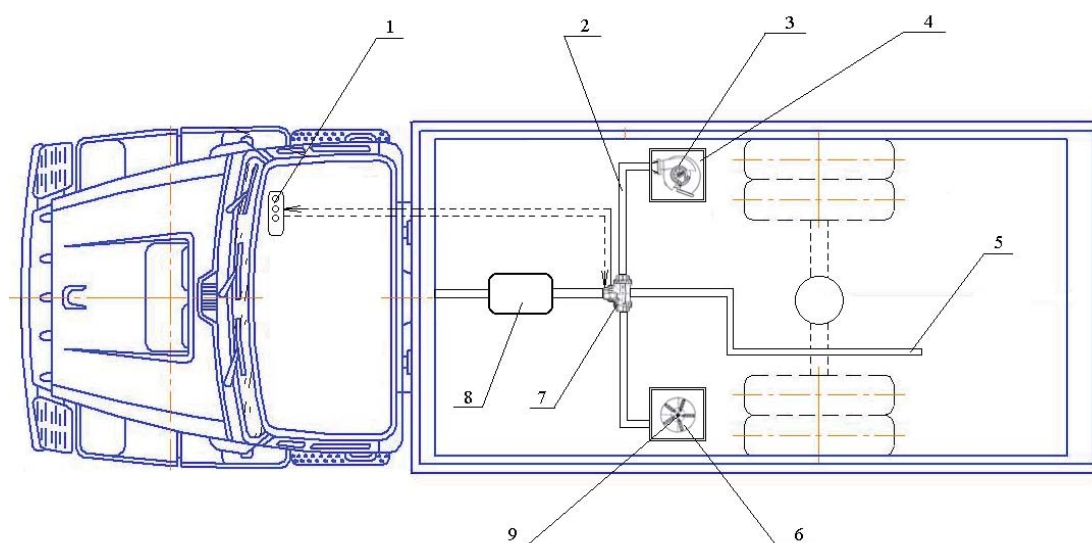


Рис. 3 – Общая принципиальная схема устройства для подачи сыпучих материалов под ведущие колёса машины:

1 – кнопочный пульт управления; 2 – газопровод подачи выхлопных газов к турбине; 3 – турбина; 4 – бункер для сыпучего материала; 5 – выхлопная труба автомобиля; 6 – разбрасывающий диск; 7 – трёхходовой кран для перераспределения потока выхлопных газов; 8 – глушитель выхлопной системы автомобиля; 9 – вал привода ворошителя

Согласно рисунку 3 устройство работает следующим образом. При возникновении буксования машины оператор визуально фиксирует, какое из колёс буксует, и нажимает кнопку пульта 1, соответствующую буксующему колесу, что переводит трёхходовой кран 7 в положение, при котором поток выхлопных газов начинает поступать через газопровод 2 к турбине 3. Пульт управления устройством и соленоидом трёхходового крана запитываются от бортовой сети машины 12–24V. Энергия выхлопных газов вращает лопасти турбины, одновременно приводя в движение разбрасывающий диск 9 и ворошитель. Разрыхлённый ворошителем сыпучий материал из бункера начинает поступать под буксующее ведущее колесо. Когда буксующее колесо получает достаточное сцепление для продолжения движения машины, оператор вновь нажимает на пульте 1 кнопку, и соленоид переводит трёхходовой кран 7 в исходное положение. При этом поток выхлопных газов поступает в выхлопную трубу 5 машины, а подвод выхлопных газов к устройству прекращается, что приводит к остановке турбины 3 и остановке вращения разбрасывающего диска и ворошителя. Подача сыпучего материала из бункера прекращается.

Материал и методы исследования. Для обоснования процесса работы устройства необходимо, чтобы сыпучий материал при разбрасывании диском попадал непосредственно под буксующее колесо. Указанное будет зависеть от начальной скорости полёта частицы, оборотов лопастей турбины и соответственно скорости вращения разбрасывающего диска. Для определения начальной скорости полёта частицы материала необходимо рассмотреть основные силы, действующие на неё при вылете (рис. 4).

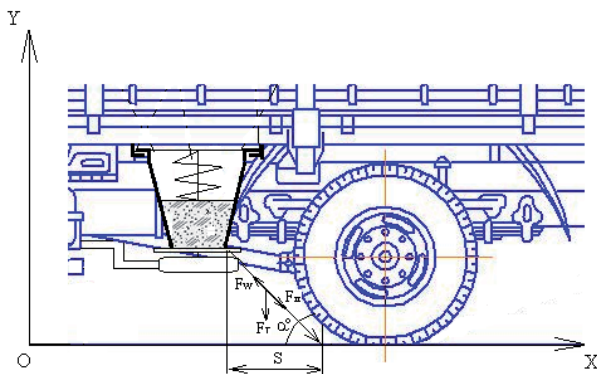


Рис. 4 – Принципиальная схема сил, действующих на частицу сыпучего материала при вылете её из бункера

Сила, действующая от лопатки разбрасывающего диска F_l , запишется в виде:

$$F_l = m \cdot a, \quad (1)$$

где m – масса частицы сыпучего материала, кг;
 a – линейное ускорение частицы, м/с².

Действующая на частицу сила тяжести F_m найдётся по формуле:

$$F_m = m \cdot g, \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с².

Также на частицу действует сила сопротивления воздуха F_w , определяемая по выражению:

$$F_w = k_p \cdot V_n^2, \quad (3)$$

где k_p – коэффициент пропорциональности, Н с²/м²;

V_n – начальная скорость полёта частицы, задаваемая лопаткой разбрасывающего диска устройства, м/с.

Что касается силы сопротивления воздушной среды, то для её определения существует достаточно много выражений [9–11], включающих в себя различные величины и коэффициенты, значения которых могут зависеть от размера рассматриваемого объекта, его формы и т.д. Однако во всех выражениях сила сопротивления воздушной среды пропорциональна квадрату скорости передвижения объекта. Поэтому для определения силы сопротивления воздушной среды, действующей на частицу при её вылете из устройства для разбрасывания сыпучего материала, была выбрана зависимость (3). В ней присутствует коэффициент k_p , который может быть определён экспериментально.

Приведём анализ сил, действующих на частицу (по оси OY):

$$F_w \cdot \sin \alpha - F_l \sin \alpha - F_m = 0, \quad (4)$$

где α – угол между траекторией полёта частицы и поверхностью дороги (угол максимального наклона траектории полёта частицы относительно горизонтали), град.

Преобразуя выражение (4), получим:

$$F_w \cdot \sin \alpha = F_l \cdot \sin \alpha + F_m. \quad (5)$$

Для упрощения расчётной модели примем (рис. 4), что частица сыпучего материала совершает равнозамедленное движение на расстояние S (по оси OX), при котором её ускорение составляет $a = V_n/t$. С учётом этого и равенств (2), (3) и (4) выражение (5) примет вид:

$$k_p \cdot V_n^2 \cdot \sin \alpha = \frac{m \cdot V_n \cdot \sin \alpha}{t} + m \cdot g, \quad (6)$$

где t – время полёта частицы на расстояние S (рис. 4), с.

Учитывая, что $t = 2S/V_n$, выражение (6) примет следующий вид:

$$k_p \cdot V_n^2 \cdot \sin \alpha = \frac{m \cdot V_n^2 \cdot \sin \alpha}{2S} + m \cdot g. \quad (7)$$

По выражению (7) окончательно определим начальную скорость полёта частицы сыпучего материала V_n :

$$V_n = \sqrt{\frac{2S \cdot m \cdot g}{2S \cdot k_p \cdot \sin \alpha - m \cdot \sin \alpha}}. \quad (8)$$

Ранее исследованиями установлено [2, 9–11], что для ограничения интенсивного буксования необходимо, чтобы слой насыпаемого материала составлял по высоте 1,5–3 мм. Высота слоя сыпучего материала выбирается из расчёта его соизмеримости

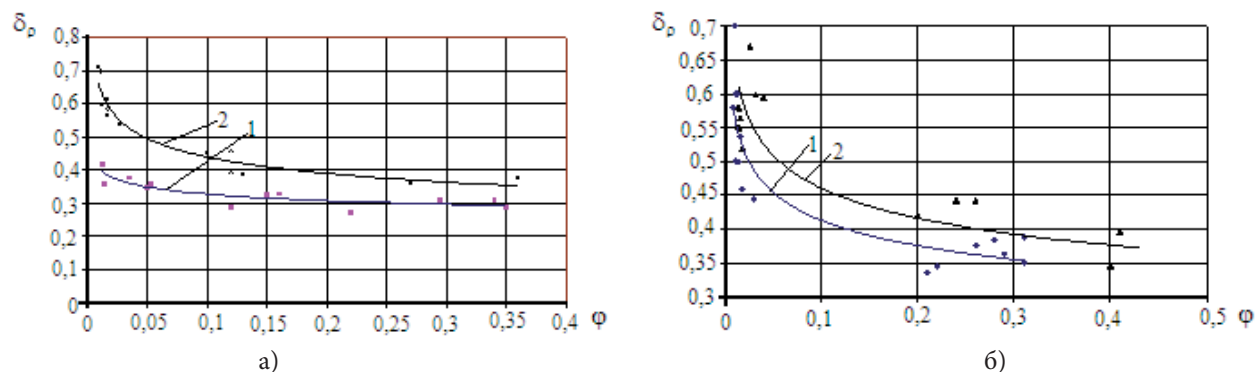


Рис. 5 – Зависимость коэффициента раздельного буксования δ_p от коэффициента сцепления ϕ гружёного (а) и негружёного (б) автомобиля ЗИЛ-4331, оборудованного с универсальным рисунком протектора при использовании разбрасывателя сыпучего материала (2) и без разбрасывателя сыпучего материала (1)

с неровностями дорожных покрытий. Теоретическая зависимость (8) позволяет рассчитать скорость движения лопатки турбины, равную начальной скорости полёта частицы и обеспечивающую попадание частицы непосредственно под вращающееся колесо. При построении зависимости в виде формулы и последующего анализа были сделаны определённые рациональные допущения: условия полёта частицы близки к идеальным. Вызываемая этими допущениями погрешность учитывается коэффициентом пропорциональности k_p , который можно найти при проведении экспериментов с устройством и его режимами.

Результаты исследования. На основании полученной зависимости (8) был изготовлен опытный экземпляр предлагаемого устройства и проведены предварительные испытания на автомобиле ЗИЛ-4331.

Выводы. Анализ графиков (рис. 5а, б) позволяет сделать следующие заключения: при разной вертикальной нагрузке (гружёный, негружёный автомобиль) коэффициент сцепления ϕ уменьшается при увеличении раздельного буксования δ , а наилучший результат по ограничению буксования получен при использовании разбрасывателя сыпучих материалов (рис. 5б).

Зная начальную скорость вылета частицы V_n , можно определить конструктивные параметры предлагаемого устройства и режимы его работы, оптимизировать их в зависимости от конструкции рассматриваемой машины.

Необходимо также отметить, что полученная зависимость (8) будет полезна при проектировании вариантов разбрасывающих устройств, имеющих подобные конструктивные параметры.

Литература

1. Бабков В.Ф. и др. Проходимость колёсных машин по грунту. М.: Автотрансиздат, 1959.
2. Горшков Ю.Г. Обеспечение повышенного сцепления пневматических шин на скользких дорогах / Ю.Г. Горшков, А.В. Богданов, И.Н. Старунова [и др.] // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 2005. № 4. С. 60–63.
3. Горшков Ю.Г., Четыркин Ю.Б. Повышение эффективности тягово-сцепных свойств грузовых автомобилей и колёсных тракторов, в трансмиссию которых введены межколёсные самоблокирующиеся дифференциалы // Научное обозрение. 2012. № 3.
4. Горшков Ю.Г., Старунова И.Н., Калугин А.А. Противобуксовочное устройство для повышения проходимости колёсных машин // Вестник ЧГАА. 2013. Т. 66. С. 35–41.
5. Николаев Л.Ф. Аэродинамика и динамика полёта транспортных самолётов. М.: Транспорт, 1990. 392 с.
6. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. М.: Машиностроение, 1981. 230 с.
7. Ульянов Ф.Г. Повышение проходимости и тяговых свойств колёсных тракторов на пневматических шинах. М.: Машиностроение, 1964.
8. Калугин А.А. Улучшение условий и безопасности труда операторов колёсных машин в сельскохозяйственном производстве за счёт организационных и технических мероприятий: дисс...канд. техн. наук. Челябинск, 2012.
9. Богданов А.В. Повышение безопасности и совершенствование оценки условий труда операторов мобильных колёсных машин в агропромышленном производстве: автореферат дисс. ... докт. техн. наук. СПб., 2010.
10. Попова С.Ю. Повышение уровня безопасности операторов мобильных колёсных машин сельскохозяйственного назначения организационными и техническими мероприятиями: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Орёл, 2006.
11. Попова А.Г. Улучшение условий и охрана труда операторов мобильных колёсных машин путём автоматизации устранения транспортно-технологических отказов: дисс. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2006.