

Повышение эффективности машин с колёсной формулой 4×2 при движении на скользких и грязных несущих поверхностях

*А.А. Калугин, к.т.н., С.В. Золотых, к.т.н.,
ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ*

Движение колёсных машин (автомобили, зерноуборочные комбайны, колёсные тракторы и

другая мобильная колёсная техника) по опорным поверхностям с высокой несущей способностью значительно отличается от движения последних по деформируемым грунтам. Прежде всего это отличие связано не только с большими затратами

энергии на дорожные сопротивления (образование колеи, заносы, нарушение боковой и курсовой устойчивости, буксование и др.), но и с ухудшением эффективности работы самих машин (потеря скорости движения, повышенный расход топлива, несвоевременная доставка грузов и др.) [1–3].

Снижение отрицательных явлений, указанных выше, при движении машин с колёсной формулой 4×2 по деформируемым грунтам осуществляется достаточно большим количеством конструктивных инженерных решений (централизованная подкачка шин, применение шин повышенной, высокой и особо высокой проходимости, цепи, колодки и траки противоскольжения, самоблокирующиеся дифференциалы и др.) (рис. 1) [1–4]. Применение шипов и цепей противоскольжения при эксплуатации машин разрушает поверхность дороги [2, 3, 5, 6].

Использование различных блокирующих дифференциалов, централизованная подкачка шин усложняют конструкцию колёсных машин, ухудшают их экономичность. При этом в настоящее время около 94% колёсных машин в сельскохозяйственном производстве снабжены шестеренчатыми дифференциалами, которые в трудных дорожных условиях снижают свои динамические качества из-за буксования колёсных движителей. Буксование вызывает такие явления, как шум, вибрация и др., которые влияют на характеристики функционального состояния операторов и, как следствие, приводят к его утомлению и ошибочным действиям [3, 5, 7].

Помимо отмеченных выше средств снижения буксования одним из наиболее эффективных способов может быть регулирование давления воздуха в шинах: снижение или в отдельных случаях

повышение давления для обеспечения лучшего контакта колеса с несущей поверхностью. При этом необходимо отметить, что снижение давления воздуха в шине лишь на 1 кг/см² позволяет увеличить сцепные качества до 20% [1–3, 8]. Это говорит о сравнительно высокой эффективности предлагаемого способа повышения тягово-сцепных качеств колёсных машин.

В сельскохозяйственном производстве применяются и специальные машины (автоцистерны, автокраны, пожарные машины, на строительстве и обслуживании ЛЭП, перевозках удобрений и др.). Однако в составе машинно-тракторного парка сельскохозяйственного производства они занимают весьма малый процент, достигающий не более 1,5–2%. Технологическая конструкция централизованной подкачки весьма сложна и в определённых условиях требует достаточно большого внимания со стороны водителя, особенно в условиях размытых дорог и глубокого снега. В таких условиях для прекращения буксования колёс водитель зачастую снижает давление воздуха в шинах до недопустимых пределов, что сказывается на ресурсе ходимости пневматических шин. В основном это происходит по причине отсутствия автоматических следящих систем, а также вследствие взаимодействия грунта с рисунком беговой дорожки шины, обусловленного конструкцией дифференциала, давлением в шинах, скоростью движения машины, нагрузкой на колёса и др.

На основании вышеизложенного предлагается конструкция противобуксовочной системы (ПБС), позволяющей регулировать давление воздуха в пневматических шинах транспортных средств с колёсной формулой 4×2.



Рис. 1 – Основные способы и средства снижения буксования и улучшения тягово-сцепных качеств колёсных машин

Эта система состоит из следующих основных элементов (рис. 2): пневматического компрессора 5, ресивера 2, воздухопроводов подвода воздуха к шинам ведущих колёс 7, электромагнитных клапанов 8, 9, 10 и 11, манометров 4, кнопочного пульта управления системой 3. Питание компрессора и электромагнитных клапанов осуществляется от бортовой сети машины (12/24 V).

Предлагаемая ПБС работает следующим образом. При буксовании одного из ведущих колёс оператор (водитель) нажимает кнопку пульта 3, соответствующую выпускному ЭМ клапану буксующего колеса. ЭМ клапан открывается и происходит выпуск воздуха из шины буксующего колеса в атмосферу. При этом, удерживая кнопку пульта 3, оператор визуально контролирует величину давления в шине по расположенному в кабине манометру 4. Если колесо выходит из фазы буксования и машина продолжает движение, оператор прекращает нажатие кнопки управления ЭМ клапаном буксующего колеса. Выпускной ЭМ клапан буксующего колеса закрывается. После снижения давления воздуха в шине и прекращения буксования, как правило, необходимо довести величину давления в шине до нормального рабочего. Для этого оператор нажимает на пульте 3 кнопку, соответствующую ЭМ клапану, работающему на подкачку ранее забуксовавшего ведущего колеса. ЭМ клапан открывается и пропускает воздух от ресивера 2 к шине буксующего колеса. Зафиксировав нормальную рабочую величину давления в шине по манометру 4, оператор прекращает на-

жатие кнопки, выпускной ЭМ клапан буксующего колеса закрывается. В том случае, если снижение давления в шине буксующего колеса не привело к прекращению буксования, необходимо, наоборот, повысить давление выше нормального рабочего для реализации сцепления шины с несущей поверхностью (в этом случае, например, это может быть слой жидкой грязи, имеющей под собой твёрдую поверхность). Для этого оператор нажимает на пульте 3 кнопку, соответствующую ЭМ клапану, работающему на подкачку ранее забуксовавшего ведущего колеса. ЭМ клапан открывается и пропускает воздух от ресивера 2 к шине буксующего колеса. Фиксируя прекращение процесса буксования вследствие повышения давления выше нормального рабочего, оператор отпускает кнопку, а выпускной ЭМ клапан буксующего колеса закрывается. После прекращения буксования, контролируя величину давления по манометру, оператор может привести её к нормальной, открыв ЭМ клапан на выпуск воздуха из ранее забуксовавшего ведущего колеса.

Монтаж противобуксовочной системы на ведущих колёсах машины состоит в подготовке каналов подвода воздуха в ступице и полуоси колеса (рис. 3). Воздуховод 4 от ресивера пропускается через подготовленное по его диаметру отверстие в диске колеса и соединяется со штуцером 3, который посредством резьбового соединения устанавливается в засверлённое отверстие ступицы. В полуоси сверлением выполнен канал 5 для подачи воздуха к пневматической шине. В области установки штуцера 3 предусмотрены сальники 1 для герме-

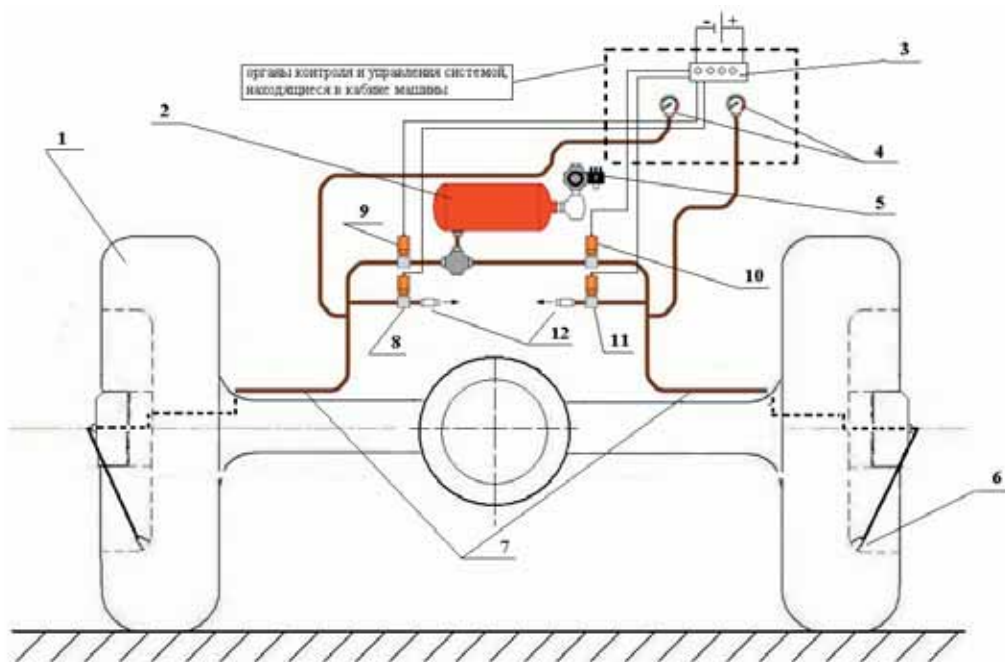


Рис. 2 – Общая принципиальная схема противобуксовочной системы:

- 1 – пневматическая шина; 2 – ресивер; 3 – пульт с кнопками управления электромагнитными клапанами; 4 – манометры контроля давления воздуха в шинах ведущих колёс; 5 – компрессор; 6 – ниппель пневматической шины; 7 – воздухопроводы подвода воздуха к шинам ведущих колёс; 8 – выпускной ЭМ клапан левого ведущего колеса; 9 – впускной ЭМ клапан левого ведущего колеса; 10 – впускной ЭМ клапан правого ведущего колеса; 11 – выпускной ЭМ клапан правого ведущего колеса; 12 – патрубки выхода воздуха из шин в атмосферу

тизации процесса истечения воздуха и стопорные кольца 2 для предотвращения осевого смещения сальников. Для установки сальников в требуемом месте трубы полуоси выполняется проточка, позволяющая разместить сальники стандартного наружного диаметра. Подвод воздуха к ниппелю шины осуществляется посредством выходного шланга 6 (рис. 3).

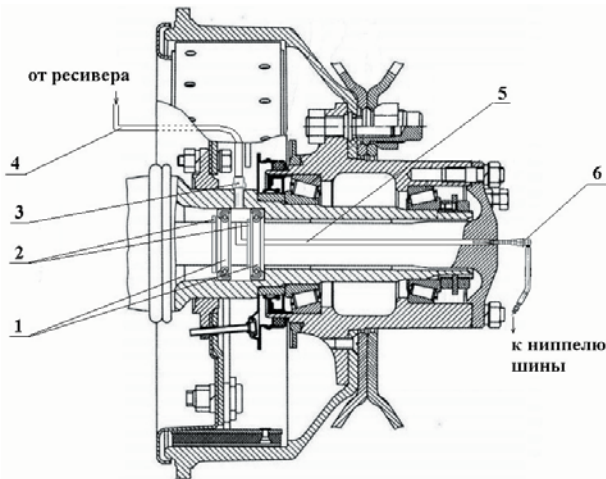


Рис. 3 – Ступица ведущего колеса автомобиля ЗИЛ-4331, оснащённого противобуксовочной системой:
1 – сальники; 2 – стопорные кольца; 3 – штуцер с резьбой; 4 – воздухопровод; 5 – канал в полуоси для подачи воздуха к пневматической шине; 6 – выходной шланг подвода воздуха к шине

Реализуемые в предложенной конструкции режимы работы ПБС должны быть обоснованы основными параметрами процессов истечения воздуха при подкачке и снижении давления воздуха в шине, а также временными характеристиками указанных процессов. Для решения поставленной задачи используем основные положения теории движения газов [7–9]. Воспользуемся принципиальной схемой (рис. 4) и определёнными допуще-

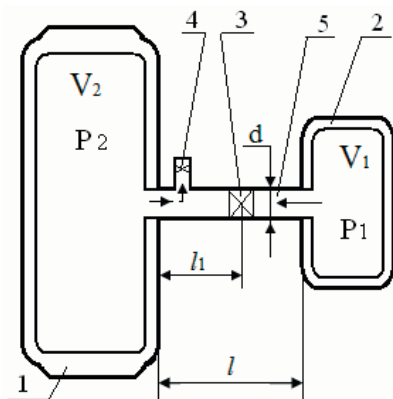


Рис. 4 – Принципиальная расчетная схема процесса истечения воздуха:
1 – шина (2 резервуар); 2 – ресивер (1 резервуар); 3 – впускной ЭМ клапан; 4 – выпускной ЭМ клапан для выхода воздуха (газа) из шины в атмосферу; 5 – воздухопровод

ниями: перетекание воздуха (газа) происходит без изменения температуры и выделения тепла; оба резервуара (за них принимаются ёмкость ресивера и внутренний объём пневматической шины) считаются жёсткими; перетекание сжатого воздуха (газа) происходит после открытия ЭМ клапана.

Время истечения t_k воздуха (газа) из ресивера 2 через клапан 3 в шину 1 может быть установлено на основе ранее полученной в ходе проведения исследования зависимости [7, 8]:

$$t_k = \frac{1}{\mu \cdot \frac{\pi d^2}{4}} \int_0^{m_k} \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \Delta p_{(m)} \cdot \rho_{cp(m)}}} dm, \quad (1)$$

где t_k – время перетекания воздуха (газа), с;
 d – диаметр воздуховода, м;
 $\Delta p_{(m)} = p_1 - p_2$ – разность давлений в резервуарах (в зависимости от количества перетёкшей массы воздуха);
 $\rho_{cp(m)}$ – средняя плотность воздуха (газа), кг/м³;
 $\Sigma \zeta$ – сумма всех местных гидравлических сопротивлений в воздуховоде со стороны пневматической шины 1 до выхода воздуха (газа) через выпускной ЭМ клапан 4;
 λ – коэффициент трения по длине воздуховода длиной l и диаметром d ;

$$\mu \approx \sqrt{\frac{1}{1 + \Sigma \zeta + \lambda \frac{l}{d}}} \text{ – коэффициент расхода,}$$

учитывающий потери напора (давления) (для задвижки $\mu \approx 0,7$; для круглого сечения составляет $\approx 0,82$) [8].

Выражение (1) позволяет обосновать размеры величин, входящих в эту зависимость. В частности, можно определить диаметры воздухопроводов, массу перетёкшего воздуха (газа), объём ресивера и требуемое давление в нём, любое время t , необходимое для перетекания массы m воздуха (газа) из ресивера в шину, а также из шины в атмосферу. Для определения среднего массового расхода воздуха (газа) Q_{cp} за время полного перетекания и скорости истечения воздуха (газа) $v_{(m)}$, в любой момент времени $t_{(m)}$, могут быть использованы следующие равенства [7, 8]:

$$Q_{cp} = \frac{m_k}{t_k}; \quad (2) \quad \text{и} \quad v_{(m)} = \frac{4 \cdot Q_{(m)}}{\rho_{cp(m)} \cdot \pi d^2}, \quad (3)$$

где Q_{cp} – средний массовый расход воздуха (газа), кг/с;
 m_k – максимальное значение перетёкшей массы, кг;
 $v_{(m)}$ – скорость истечения воздуха (газа), м/с.

Полученная зависимость (1) представляет математическую модель [7, 8] для определения временных характеристик работы предложенной системы. По этой формуле можно оптимизировать время работы ПБС и её конструктивные параметры под конкретную марку колёсной машины (автомобиля,

трактора) [7–9]. Представленные теоретические расчёты и предложенное техническое решение можно использовать для дальнейшего прикладного исследования вопросов комплексного поиска решений проблемы снижения буксования колёсных пневматических движителей машин.

Литература

1. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. М.: Машиностроение, 1981. 230 с.
2. Бабков В.Ф. и др. Проходимость колёсных машин по грунту. М.: Автотрансиздат, 1959.
3. Горшков Ю.Г. Повышение эффективности функционирования системы «дифференциал – пневматический колёсный движитель – несущая поверхность» мобильных машин сельскохозяйственного назначения: дисс. ... докт. техн. наук. Челябинск, 1999. 311 с.
4. Ульянов Ф.Г. Повышение проходимости и тяговых свойств колёсных тракторов на пневматических шинах. М.: Машиностроение, 1964.
5. 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.
6. 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.
7. Горшков Ю.Г., Старунова И.Н., Калугин А.А. Автоматическое регулирование давления воздуха в шинах – фактор безопасного движения колёсных машин на склонах // Техника в сельском хозяйстве. 2014. № 1. С. 13–15.
8. Горшков Ю.Г. Исследование влияния угла склона на дисбаланс нагружения бортов колёсной машины и изменение направления вектора центра тяжести / Ю.Г. Горшков, И.Н. Старунова, А.А. Калугин, М.А. Белоусов // Научное обозрение. 2014. № 1. С. 28–32.
9. Горшков Ю.Г. Обоснование необходимого времени регулирования давления воздуха в шинах при движении транспортного средства по склону / Ю.Г. Горшков, И.Н. Старунова, А.А. Калугин, В.В. Бакунин // Научное обозрение. 2014. № 4. С. 116–122.