

В. В. Гуськов, А. С. Поварехо, П. В. Лысанович

*Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: povarekho@bntu.by*

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ НА ТЯГОВО-СЦЕПНЫЕ СВОЙСТВА И ЭКОНОМИЧНОСТЬ

Исследован процесс взаимодействия колесного движителя с грунтовой поверхностью при изменении давления воздуха в шине. Установлено влияние давления воздуха на тягово-сцепные свойства колесных машин. Предложена система автоматического регулирования давления воздуха в шинах мобильных машин в зависимости от дорожных условий.

Ключевые слова: автоматическое регулирование, шина давление воздуха, параметры шины, физико-механические свойства грунтовой поверхности, тягово-сцепные свойства.

V. V. Guskov, A. S. Pavarekha, P. V. Lysanovich

*Belarusian national technical University
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: povarekho@bntu.by*

ON THE ISSUE OF CREATING A SYSTEM OF AUTOMATIC PRESSURE CONTROL IN TIRES OF MOBILE MACHINES

Studies of the process of interaction of the wheel drive with the ground surface when the air pressure in the tire. As a result of researches it is established that the size of air pressure in tires renders essential influence on traction properties of wheel cars. As a result, the design of the system of automatic control of air pressure in the tires of mobile machines, depending on the road conditions.

Keywords: automatic control, a tire air pressure, the tire parameters, physico-mechanical properties of the ground traction.

Введение

Известен ряд способов повышения тягово-сцепных свойств колесных тракторов, основными из которых являются: использование полного привода, сдвигание или страивание шин, использование балласта, применение догрузителей сцепного веса, блокировка межосевых и межколесных дифференциалов.

В последнее время развивается один из способов повышения тягово-сцепных свойств и проходимости машин по грунтам со слабой несущей способностью – регулирование давления воздуха в шинах ведущих колес трактора.

Обычно последствия использования неправильно подобранного давления в шинах недооценивают. А ведь вследствие этого машина не может полностью реализовать свой потенциал. Растет коэффициент буксования и снижается тяговая мощность трактора. Чтобы снизить буксование и улучшить передачу тяговой мощности, начинают навешивать дополнительный балласт. Результаты проведенных исследований показали [4, 5, 6], что это не самый эффективный инструмент для уменьшения буксования. Увеличивая общую массу трактора, мы увеличиваем нагрузку на почву, повреждая ее, да и экономический результат вызывает сомнения.

При небольших рабочих скоростях (9...12 км/ч), например, при выполнении основной обработки почвы, тяговую мощность ограничивает пятно контакта шины с почвой.

Сама по себе почва не может «воспринять» большое окружное усилие на колесе. Вращающиеся колеса не передают полностью ту мощность, которую они через трансмиссию получили от двигателя. Основной задачей становится снижение коэффициента буксования за счет улучшения сцепления шин и почвы.

Со снижением давления в шине увеличивается пятно контакта с почвой, а значит, нагрузка распределяется по большей площади. Вследствие меньшего давления, шины в меньшей степени заглубляются в почву. Таким образом, снижается сопротивление качению и меньше мощности растрчивается на уплотнение почвы. К тому же за счет увеличения опорной поверхности улучшаются сцепные свойства шины с почвой, а значит, на нее можно передать большую мощность.

Тяговая мощность и буксование связаны воедино и без первого не будет второго. Уровень буксования, превышающий 15%, приводит к повреждению почвы. Что же касается сопротивления качению, то при движении по шоссе оно тем меньше, чем больше давление в шинах. В поле ситуация диаметрально противоположна: чем меньше давление, тем меньше глубина захода колеса в почву и, соответственно, меньше сопротивление качению.

В 2017 г. на международной выставке сельскохозяйственных тракторов и машин фирма Fendt (ФРГ) представила сельскохозяйственный колесный трактор тягового класса 5,0 с двигателем мощностью 360 л. с., с системой регулирования воздуха в шинах (рис. 1).



Рис. 1. – Трактор фирмы Fendt на полевых испытаниях по регулированию давления воздуха в шинах

Фирма провела исследование влияния давления воздуха в шинах этого трактора на его тягово-сцепные свойства при работе на суглинке нормальной влажности ($w = 14...16\%$) при различных сельскохозяйственных работах. В результате исследований было выявлено существенное повышение мощности на крюке при регулировании давления (рис. 2).

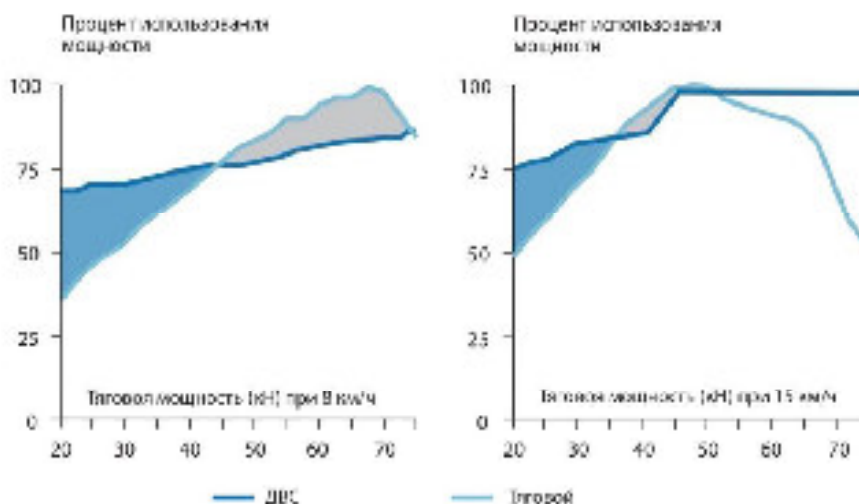


Рис. 2. – Взаимозависимость относительных показателей тяговой мощности и мощности ДВС

Также существенно понижается и расход топлива при различного вида работах. Давление в шинах регулировалось согласно таблице.

Подбор давления

Фронтальный балласт	Давление в шинах			
	Транспортные работы		Полевые работы	
	Передняя ось	Задняя ось	Передняя ось	Задняя ось
Отсутствует	0,8 бар	1,6 бар	0,6 бар	0,6 бар
1250 кг	1,4 бар	1,6 бар	1,2 бар	0,6 бар
2500 кг	2,4 бар	1,6 бар	1,6 бар	0,6 бар

При этом нужно отметить, что давление регулировалось водителем при остановке трактора в зависимости от сезона, категории грунтовой поверхности и вида работ, что, по нашему мнению, снижает эффективность рассматриваемого метода.

Объекты и методы исследования

Объектом исследований является система регулирования давления воздуха в шинах ведущих колес трактора (многоосевых колесных машин) и ее влияние на тягово-сцепные свойства и проходимость.

Методом исследований является теоретическое обоснование процесса взаимодействия ведущего колеса с грунтовой поверхностью, влияние давления воздуха в шинах на его тягово-сцепные свойства и проходимость.

Результаты исследований

Результаты теоретических исследований процесса взаимодействия ведущего колеса с грунтовой поверхностью показали возможность улучшения тягово-сцепных свойств колесных тракторов и их экономичности за счет автоматического регулирования давления воздуха в шинах.

Основная часть

1. Теоретическое обоснование процесса взаимодействия ведущего колеса колесных машин с грунтовой поверхностью

1.1. Физико-механические свойства грунтовой поверхности

При воздействии ходовых органов машины на грунт, в последнем, возникают деформации, значение и характер которых обусловлены действием внешних и внутренних сил, вызывающих смещение частиц друг относительно друга, а также изменение среднего расстояния между частицами. Если после устранения внешнего воздействия частицы грунта вернуться в первоначальное положение, то деформация считается упругой, если положение частиц после снятия нагрузки отличается от первоначального, то наблюдается остаточная деформация. Если остаточная деформация равна общей деформации, то речь идет о пластической деформации.

Реальные грунты не являются чисто упругими и пластическими. Один и тот же грунт при различных условиях деформации проявляет свойства и упругости, и пластичности. При малых нагрузках деформация прямо пропорциональна им, т. е. грунт проявляет себя как упругое тело (участок I, рис. 3).

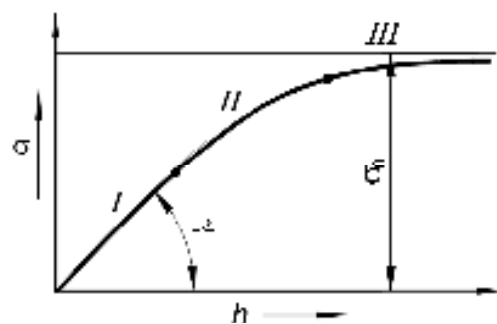


Рис. 3. – Зависимость нормальных напряжений σ от глубины погружения h штампа

возрастает (участок II, рис. 3), в этом состоянии грунт близок к упруго-пластичным средам. При какой-то предельной нагрузке происходит увеличение деформации без ощутимого возрастания напряжения (участок III, рис. 3).

Деформации грунтов, находящихся в естественном состоянии, представляют собой особый вид деформаций, свойственный только полидисперсным системам при условии, что силы отталкивания приближаются к значениям сил сцепления. Поэтому даже при линейной зависимости между напряжением и деформацией (малые нагрузки) после снятия нагрузки наблюдаются большие остаточные деформации.

При взаимодействии движителей мобильных машин с грунтом, последний подвергается смятию, сдвигу в разных направлениях, в результате чего в нем возникают поля нормальных и касательных напряжений, распространяющихся в глубину и в разные стороны от места приложения нагрузки. От способности грунта выдерживать указанные напряжения зависят глубина колеи, образуемой движителями машины, сила сопротивления движению за счет смятия грунта опорной частью колеса и образования колеи, а также сила сцепления. Поэтому сопротивление грунтов сжатию и сдвигу является основным показателем, влияющим на тягово-сцепные качества машин.

Известно, что тягово-сцепные и скоростные свойства мобильной машины проявляются при взаимодействии ее ходового аппарата с поверхностью движения. Поверхность движения может быть искусственной (асфальт, бетон, булыжник и др.) и естественной (целина, залежь, пахота и др.). В свою очередь, естественная поверхность может быть минерального (глина, песок и пр.) и торфяно-болотного происхождения (торфяники с остатками разного рода растительности).

Тягово-сцепные свойства многоцелевых колесных машин (МКМ) зависят, с одной стороны, от параметров машины (ее движителя), с другой – от физико-механических свойств грунтовой поверхности.

Грунтовая поверхность характеризуется составом грунта (минеральные грунты, торфяники), сопротивлением ее смятию и сдвигу, влажностью, плотностью, пористостью и др.

Одним из основных свойств является сопротивление грунтов сжатию и сдвигу под действием динамической нагрузки. В механике грунтов в основном рассматриваются зависимости сжатия и сдвига от статической нагрузки. Процесс взаимодействия движителя мобильной машины характеризуется переменным неустановившимся режимом перехода относительного покоя к относительному движению.

Одними из зависимостей сопротивления сжатию и сдвигу, которые адекватно отражают динамический процесс взаимодействия ведущего и ведомого колес движителя машины с грунтовой поверхностью являются зависимости, предложенные профессором В. В. Кацыгиным [6]. На рис. 3 показана зависимость нормальных напряжений σ от глубины погружения h , а на рис. 4 – напряжений сдвига τ от деформации Δ .

Нормальное напряжение определяется по формуле:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \operatorname{th} \left(\frac{k}{\sigma_0} \cdot h \right), \quad (11)$$

где σ_0 – несущая способность грунта, Н/м²;

k – коэффициент объемного смятия грунта, Н/м³;

h – глубина погружения штампа, м.

Напряжения сдвига, возникающие при деформации грунта:

$$\tau = f_{\text{ск}} \cdot q_x \cdot \left(1 + \frac{f_{\text{п}}}{ch \frac{\Delta}{k_{\tau}}} \right) \cdot \operatorname{th} \frac{\Delta}{k_{\tau}}, \quad (2)$$

где q_x – давление колеса на грунт, Н/м²;

$f_{\text{ск}}$ – коэффициент трения скольжения;

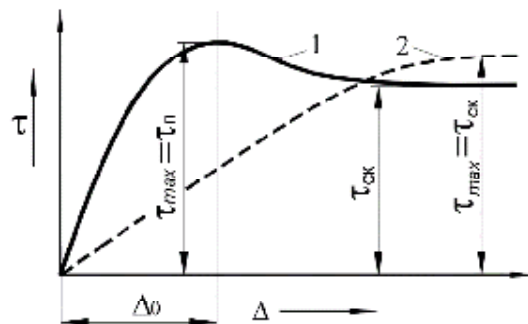
$f_{\text{п}}$ – коэффициент трения покоя;

k_{τ} – коэффициент деформации грунта, м;

Δ – деформация сдвига, м.

Особенностью этих зависимостей является то, что они имеют реальное происхождение, а коэффициент k_{τ} пропорционален предельной деформации сдвига Δ_0 , т. е.

$$k_{\tau} = f(\Delta_0).$$



1 – плотные грунты; 2 – пластичные грунты

Рис. 4. – Зависимость напряжений сдвига τ от деформаций Δ

1.2. Тягово-сцепные свойства колес МКМ

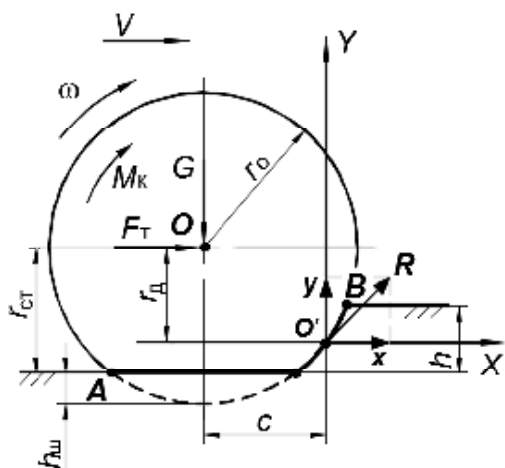


Рис. 5. – Схема сил и моментов, приложенных к ведущему колесу, движущемуся по горизонтальной грунтовой поверхности в установившемся режиме

Применение вышеприведенных зависимостей к процессу взаимодействия колесного движителя с грунтовой поверхностью дало возможность с большой достоверностью определить тягово-сцепные качества машины при движении по указанной поверхности [1, 4, 7].

Сила $F_{\text{сnp}}$ сопротивления движению за счет смятия грунта опорной поверхностью колеса и глубина колеи определяются на основе расчетной схемы (рис. 5) с помощью уравнений (3) и (4).

На рис. 5 приняты следующие обозначения: r_0 , $r_{\text{ст}}$, $r_{\text{д}}$ – номинальный, статический и динамический радиусы колеса; c – горизонтальная координата приложения реакции грунтовой поверхности; F_T , M_K – толкающая сила и крутящий момент, действующие на колесо; h , $h_{\text{ш}}$ – глубина колеи и деформация шины под действием нагрузки G

$$G = \int_0^{h_0} \frac{b \cdot \sigma_0 \cdot (r_{\text{пр}} - h)}{\sqrt{2 \cdot r_{\text{пр}} \cdot h - h^2}} \cdot th \left[\frac{k \cdot r_{\text{пр}}}{\sigma_0} \cdot \frac{\ln(r_{\text{пр}} - h)}{r_{\text{пр}} - h_0} \right] dh, \quad (4)$$

где b – ширина колеса, м;

$r_{\text{пр}}$ – приведенный радиус колеса, м.

При этом были приняты следующие допущения:

ведущее колесо движется по горизонтальной грунтовой поверхности в установившемся режиме;

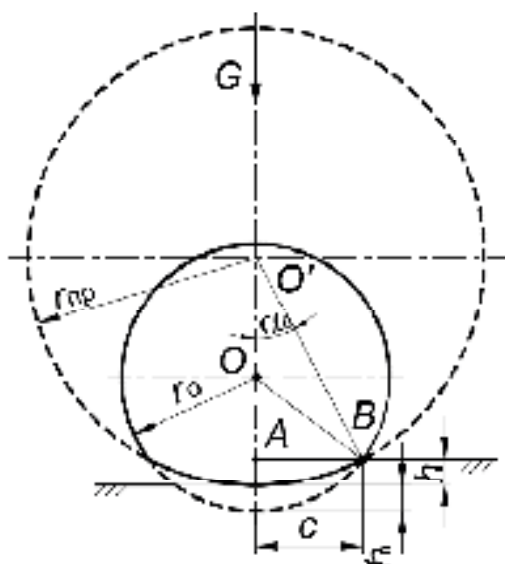


Рис. 6. – Замена эластичного колеса радиусом r_0 жестким колесом радиусом $r_{\text{пр}}$

реальное ведущее колесо радиусом r_0 заменено жестким колесом большего радиуса $r_{\text{пр}}$ согласно [2, 3, 5]; реакции грунтовой поверхности направлены нормально к опорной поверхности.

Замена номинального радиуса r_0 приведенным радиусом $r_{\text{пр}}$ жесткого колеса проводится по формуле (рис. 6):

Касательная сила тяги (движущая сила) определяется на основании рис. 7, согласно выражению (5):

$$F_k = \int_0^{L_{\text{пр}}} b \cdot f_{\text{ск}} \cdot q_x \cdot \left(1 + \frac{f_{\text{п}}}{ch \frac{\delta_x \cdot x}{k_{\tau}}} \right) \cdot th \frac{\delta_x \cdot x}{k_{\tau}} dx, \quad (5)$$

где $L_{\text{пр}}$ – приведенная длина опорной части колеса (AB, рисунок 6), м;

q_x – давление движителя на грунт, Н/м².

δ – буксование колеса ($0 \leq \delta \leq 1$).

1.3. Буксование ведущих колес колесных машин

Рассмотрим процесс возникновения буксования колеса, используя расчетную схему, представленную на рис. 7 [2, 3].

Как уже указывалось выше, тягово-сцепные свойства мобильных машин, в частности колесных тракторов, зависят от буксования колес машины, которое определяется силами трения и сдвигом грунта почвозацепами в сторону, обратную направлению движения последней.

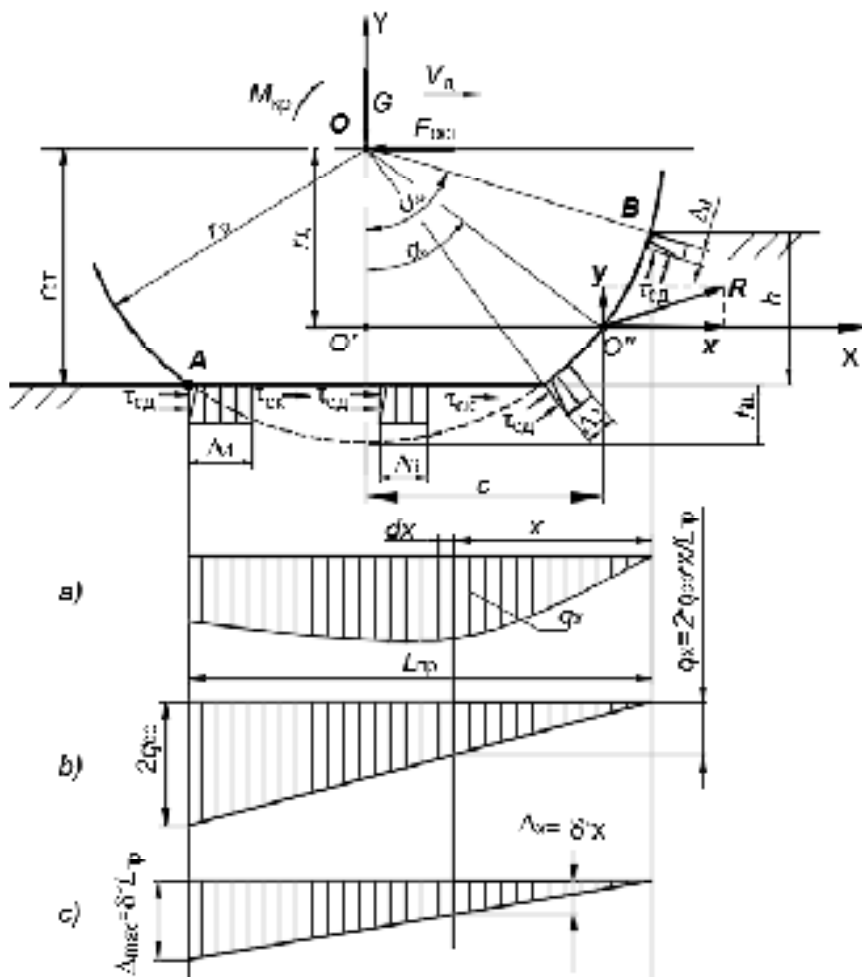


Рис. 7. – Схема взаимодействия ведущего колеса с грунтовой поверхностью

Теоретически передача ведущего момента обязательно должна сопровождаться буксованием, в результате чего, ось колеса перемещается как бы на соответствующее расстояние назад. В этом, главным образом, заключается физическая сущность буксования ведущих колёс на деформируемой поверхности и причина снижения их поступательной скорости. Дополнительное незначительное снижение поступательной скорости ведущих колёс обуславливается тангенциальными деформациями шин. Благодаря эластичности шин в окружном направлении, участки её, приближающиеся при качении колеса к площадке контакта шины с грунтом, под действием ведущего момента – сжимаются, вследствие чего путь, проходимый колесом за один оборот, уменьшается. Из сказанного выше, следует, что сцепление опорной поверхности колеса с грунтом происходит за счёт сил трения, возникающих между шиной и грунтом, и силы сдвига, а также среза грунтовых кирпичей, зажатых между грунтозацепами. При движении колеса ($v = \text{const}$), сдвиг и срез грунтовых кирпичей происходит в основном в период выхода последнего грунтозацепа опорной поверхности колеса из грунта (рис. 7). В этот момент, нагрузка, от вышедшего из зацепления грунтозацепа, перераспределяется на остальные, находящиеся в зацеплении. Все

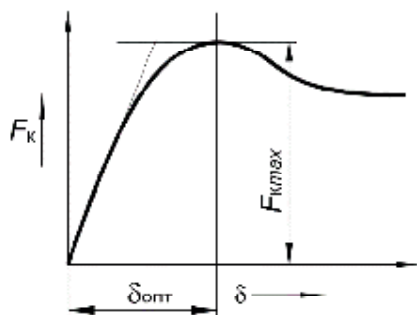


Рис. 8. – Зависимость движущей силы от буксования при работе колесной машины на стерне суглинка нормальной влажности

грунтозацепы сдвигают и срезают грунт на одинаковую величину, причём первый сдвигается на величину Δ_1 , второй на величину $\Delta_1 + \Delta_1 = 2 \cdot \Delta_1$, третий на $\Delta_1 + \Delta_1 + \Delta_1 = 3 \cdot \Delta_1$ и т. д. Поскольку первый грунтозацеп пройдёт все стадии зацепления от входа в грунт до выхода из него, наибольший сдвиг и срез грунта при выходе его из зацепления равен $\Delta_{\max} = n \cdot \Delta_1$ (здесь n – число грунтозацепов в зацеплении опорной поверхности колеса с грунтом).

С другой стороны, наибольший сдвиг и срез грунта можно представить как произведение коэффициента буксования δ на длину опорной поверхности колеса $L_{\text{пр}}$, т. е. $\Delta_{\max} = \delta \cdot L_{\text{пр}}$.

При движении по грунтовой поверхности движущая сила растёт в зависимости от буксования δ до определенного предела $\delta_{\text{опт}}$, а затем начинает снижаться (рис. 8).

Это объясняется тем, что при взаимодействии шины, имеющей грунтозацепы, с грунтовой поверхностью последние сдвигают грунт в направлении, обратном движению машины и на участке от 0 до $\delta_{\text{опт}}$ движущая сила пропорциональна усилиям сдвига $T_{\text{сд}}$.

При достижении буксования $\delta_{\text{опт}}$ грунтозацепы срезают грунтовые «кирпичи» и образуется «земляное» колесо, т. е. трение сдвига $T_{\text{сд}}$ заменяется трением скольжения $T_{\text{ск}}$. Известно, что $T_{\text{сд}} \geq T_{\text{ск}}$.

Таким образом, при буксовании колеса имеется два режима буксования (рис. 8):

сила тяги растёт с увеличением буксования;

сила тяги падает и стремится к постоянной величине, обусловленной силами трения «земляного» колеса с грунтовой поверхностью.

2. Влияние давления воздуха в шинах ведущих колес на тягово-сцепные качества машины

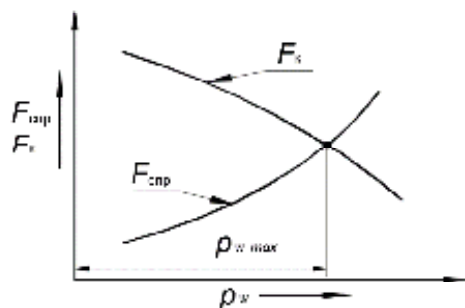


Рис. 9. – Зависимость тягово-сцепных свойств колесного трактора от давления воздуха в шине при работе на стерне суглинка нормальной влажности

Результаты исследований процесса взаимодействия колесного движителя с грунтовой поверхностью, проведенные сотрудниками кафедры «Тракторы» БНТУ [1, 2, 3] показали, что при снижении давления p_w воздуха в шинах ведущих колес трактора увеличивается сила тяги F_k и уменьшается сила сопротивления движению за счет образования колеи $F_{\text{спр}}$ и наоборот (рис. 9).

При увеличении давления воздуха в шине до p_w^{\max} наступает потеря тягово-сцепных свойств машины. Особенно это явление заметно при движении трактора по грунтам со слабой несущей способностью типа торфяников или на минеральных грунтах при большой влажности.

3. Автоматическое регулирование давления воздуха в шинах мобильных машин

В настоящее время регулирование давления воздуха осуществляется ручным способом при остановке машины. Такое регулирование не всегда успешно. Например, если машина при движении попадает на участок грунта слабой несущей способности, то при ручном регулировании она теряет проходимость или ухудшаются ее тягово-сцепные свойства за счет увеличения буксования.

Нами предлагается создать систему автоматического регулирования давления, функционирующую в соответствии с дорожными условиями. Она основывается на том, что при достижении касательной силы тяги максимального значения и дальнейшем увеличении буксования (рис. 8)

начинает работать электронное устройство, позволяющее снизить давление воздуха в шинах машины.

В результате исследований предложено два направления оценки необходимости регулирования давления воздуха в шине.

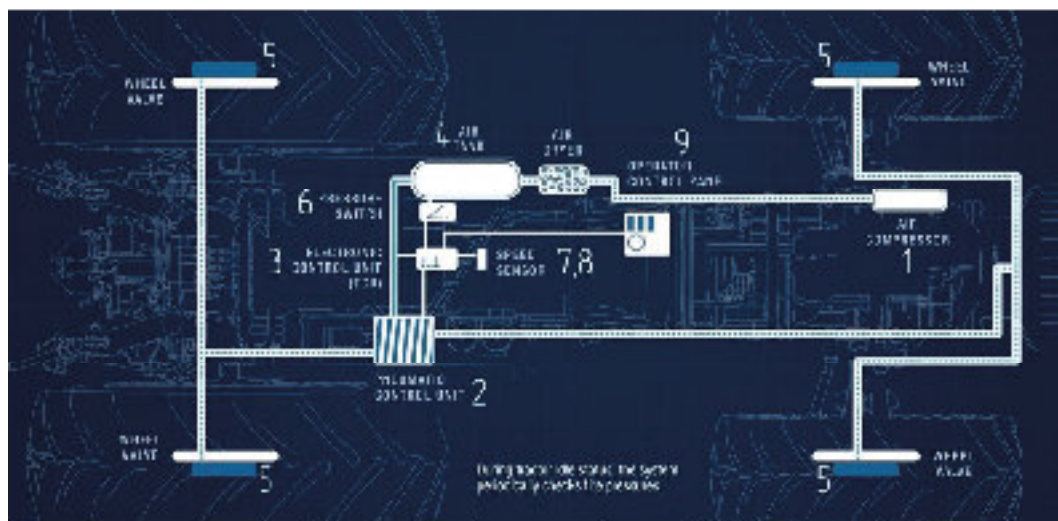
Первый путь требует установки датчиков, определяющих максимальную F_k силу, и электронного устройства, реализующего зависимость $F_k = f(\delta)$. При этом реализуется уравнение вида:

$$\partial F_k / \partial \delta \rightarrow 0.$$

Второй путь требует установки датчиков теоретической $V_T = \omega \cdot r_k$ и действительной $V_n = V_T \cdot (1 - \delta)$ скорости движения трактора (рис. 8). При этом реализуется уравнение вида:

$$\partial \delta / \partial F_k \rightarrow \infty.$$

На рис. 10 показан один из вариантов предлагаемой системы автоматического регулирования давления воздуха в шинах мобильных машин.



1 – компрессор; 2 – регулятор давления; 3 – тройной защитный клапан; 4 – ресивер; 5 – шинный клапан; 6 – датчик давления; 7 – датчик реальной скорости; 8 – датчик теоретической скорости; 9 – электронный блок

Рис. 10. – Принципиальная схема системы автоматического регулирования давления воздуха в шинах

Воздух от компрессора 1 подается в ресивер 4, из которого при помощи шинного клапана 5, управляемого электронным блоком 9, непосредственно в шину. Управление давлением воздуха в шинах осуществляется электронным блоком по сигналам от датчика реальной скорости 7, датчика теоретической скорости 8 и датчиков крутящего момента 6 путем управления шинными клапанами.

Заключение

1. Установлено, что регулирование давления воздуха в шинах мобильных машин влияет на их тягово-сцепные свойства.

2. Ручное регулирование обладает рядом недостатков при движении машины на различных грунтовых поверхностях, когда требуется быстрое изменение давления.

3. Возможно создать систему регулирования давления, которая обеспечивает автоматическое регулирование давления в шинах в зависимости от дорожных условий.

Список использованной литературы

1. Агейкин Я. С. Проходимость автомобилей. – М.: Машиностроение, 1981 – 232 с.
2. Бабков В. Ф. Проходимость колесных машин по грунту / В. Ф. Бабков, А. К. Бируля, В. М. Сиденко. – М.: Автотрансиздат, 1959. – 189 с.

3. Беккер М. Г. Введение в теорию систем местность-машина. Ч. I. Местность. Ч. II. Машина. Пер. с англ. Гуськова В. В. М.: Машиностроение. 1973. – 520 с.
4. Гуськов В. В. Оптимальные параметры сельскохозяйственных тракторов / В. В. Гуськов. – М.: Машиностроение, 1966. – 196 с.
5. Гуськов В. В. Тракторы: Теория / В. В. Гуськов, Н. Н. Велев, Ю. Е. Атаманов и др.; Под общ. ред. В. В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.
6. Кацыгин В. В. Некоторые вопросы деформации почв. «Вопросы сельскохозяйственной механики», Т. XIII. – Минск: Сельхозгиз, 1964. – С. 117–185.
7. Колобов Г. Г., Парфенов А. П. Тяговые характеристики тракторов. М.: «Машиностроение», 1972. – 157 с.

УДК 658.7

Поступила в редакцию 03.09.2016
Received 03.09.2016

Е. И. Михайловский

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: N22-22@yandex.ru*

ПРОЦЕСС СНАБЖЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ КАК ФАКТОР ВЛИЯНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ЗАТРАТАМИ ОРГАНИЗАЦИИ

В статье приводятся результаты выполненных исследований процесса снабжения материальными ресурсами как фактора влияния на эффективность управления производственными затратами организации.

Ключевые слова: производственные затраты, процесс снабжения, материальные ресурсы, материальные потоки, цены, транспортные расходы, тарифы.

E. I. Mikhailovsky

*EE «Belarusian State Agrarian Technical University»,
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: N22-22@yandex.ru*

MATERIAL RESOURCES PROCESS AS A FACTOR OF EFFECT ON THE EFFICIENCY OF MANAGING THE PRODUCTION COSTS OF THE ORGANIZATION

The article presents the results of the research carried out on the process of supplying material resources as a factor influencing the efficiency of managing production costs of an organization.

Keywords: production costs, supply process, material resources, material flows, prices, transportation costs, tariffs.

Введение

Для эффективного управления производственными затратами необходимо совершенствовать процесс снабжения организации материальными ресурсами. Уровень производственных затрат зависит от стоимости материальных ресурсов, используемых в организации всего процесса производства продукции, а также от величины расходов, связанных с доставкой и хранением сырья и материалов.

Результаты исследований

В зависимости от вида экономической деятельности и размера добавленной стоимости, создаваемой конкретным производителем, материальные затраты в общем объеме производственных затрат могут составлять 45% и более.