

На правах рукописи

**Богданов Андрей Владимирович**



**ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА  
В ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ДВИЖИТЕЛЯХ КОЛЕСНЫХ МАШИН  
С БЛОКИРОВАННЫМ ПРИВОДОМ ВЕДУЩИХ МОСТОВ  
НА ТРАНСПОРТНЫХ РАБОТАХ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск – 2003

Работа выполнена на кафедре «Тракторы и автомобили» Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Челябинский государственный агроинженерный университет».

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор,  
заслуженный работник высшей школы РФ  
ГОРШКОВ Юрий Германович

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор,  
заслуженный деятель науки и техники РФ  
КОСИЛОВ Николай Иванович

кандидат технических наук, доцент  
ГАЛИМЗЯНОВ Равиль Каюмович

Ведущая организация – Государственное унитарное предприятие  
«Уральская научно-исследовательская  
испытательная станция НАТИ»  
(Челябинская обл., г.Чебаркуль)

Защита диссертации состоится 18 декабря 2003 г., в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 220.069.01 при Челябинском государственном агроинженерном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 75.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО «Челябинский государственный агроинженерный университет».

Автореферат разослан 17 ноября 2003 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук,  
профессор



ПЛАКСИН А.М.

2003-A

19527

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Увеличение производства сельскохозяйственной продукции невозможно без рационального использования каждой единицы мобильной техники. Неотъемлемой частью сельскохозяйственного производства являются транспортные работы, где наряду с автомобильной техникой широкое применение получили колесные тракторы типа Т-150К. Эти машины около половины времени заняты на транспортных работах, где наблюдаются наибольшие скоростные режимы и догрузка тракторов полуприцепами и прицепами.

Транспортные перевозки преимущественно осуществляются на дорогах с достаточно твердыми опорными поверхностями. На таких дорогах при работе тракторов Т-150К с обоими ведущими мостами (тракторы относятся к машинам с блокированным приводом ведущих мостов) в результате кинематического несоответствия между колесами разных осей (ввиду различия радиусов качения колес) может возникнуть циркулирующая паразитная мощность, являющаяся дополнительным, а порой и основным источником потерь энергии на качение. Кроме того, кинематическое несоответствие вызывает повышенный износ шин, поломку отдельных элементов трансмиссии, снижение устойчивости прямолинейного движения и др.

При этом, величина кинематического несоответствия зависит от давления воздуха в шинах, которое оказывает непосредственное влияние на деформацию шин и, следовательно, на радиусы качения колес. От величины давления также зависят потери энергии на качение и буксование, а это напрямую связано с топливной экономичностью машин.

Существующие в настоящее время общие рекомендации по давлению воздуха в шинах не в полной мере учитывают условия эксплуатации машин даже на транспортных работах по относительно твердым опорным поверхностям (изменение нагрузок на оси и т.д.) и, тем самым, не обеспечивают наивысших технико-экономических показателей при работе машин. Ранее проводимые исследования показывают, что правильный выбор давления воздуха в шинах может снизить расход топлива на 5...20 %.

Поэтому повышение топливной экономичности колесных машин с блокированным приводом ведущих мостов может решаться путем выбора рациональных давлений воздуха в шинах этих машин с учетом конкретных условий эксплуатации.

Актуальность данного направления подтверждается целевой программой ГКНТ ОЦ.048 и научно-технической программой ЧГАУ - тема № 8 «Разработать и освоить прогрессивные методы организации, технологические процессы, приборы и оборудование, обеспечивающие повышение уровня использования тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин».

В связи с изложенным сформулирована цель исследования – снижение затрат энергии на качение колесных машин с блокированным приводом

РОС. НАЦИОНАЛЬНАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
С.Петербург  
09 1003 ак 182

ведущих мостов при их движении по твердым опорным поверхностям путем выбора рациональных давлений воздуха в пневматических движителях.

**Объект исследования** – процесс взаимодействия с твердой опорной поверхностью пневматических движителей колесных машин с заблокированным приводом ведущих мостов.

**Предмет исследования** – закономерности взаимодействия и взаимовлияния элементов системы «пневматический колесный движитель – межосевой заблокированный привод ведущих мостов – твердая несущая поверхность».

Цель работы достигается решением следующих задач исследования:

1. Исследовать КПД колесного движителя с учетом составляющих потерь энергии и влияние давления воздуха в шине на эти составляющие при качении колеса по твердой опорной поверхности.
2. Разработать аналитическую зависимость (математическую модель) для определения рациональных значений давления воздуха в шинах колесных машин с заблокированным приводом ведущих мостов с точки зрения минимума затрат энергии при движении по твердым опорным поверхностям.
3. Провести экспериментальную проверку разработанной аналитической зависимости для определения рациональных значений давления воздуха в шинах колесных машин с заблокированным приводом ведущих мостов и дать экономическую оценку использования рациональных давлений воздуха в шинах.

**Научная новизна.** Теоретически исследован КПД пневматического колесного движителя с учетом составляющих потерь энергии на его качение по твердой опорной поверхности. При этом определены те составляющие потерь энергии, которые при изменении давления воздуха в шине влияют на КПД колесного движителя. Это потери энергии на нормальную деформацию шины, тангенциальную деформацию шины и буксование колеса. Предложено выражение для определения потерь на нормальную деформацию шины в зависимости от нагрузки на колесо, геометрических размеров колеса и шины, плотности материала шины и давления воздуха в ней. Теоретический анализ влияния давления воздуха в шине на каждую составляющую потерь энергии позволил вывести зависимость для определения рациональных значений давления воздуха в шинах колесных машин с заблокированным приводом ведущих мостов с точки зрения минимальных потерь энергии при движении машин. Эта зависимость справедлива для колесных машин с двумя и более активными осями при движении по твердым опорным поверхностям. Она позволяет определять рациональные давления воздуха в шинах в зависимости от распределения нагрузок по мостам машины и характеристик самих пневматических движителей. Справедливость данной зависимости подтверждена экспериментально.

**Практическая значимость** работы состоит в том, что результаты проведенных исследований позволяют на этапе проектирования определить ра-

циональные параметры пневматических движителей, позволяющих снизить потери энергии при их качении. Зависимость для определения рациональных значений давления воздуха в шинах колесных машин с заблокированным приводом ведущих мостов можно использовать как при эксплуатации машин, так и на стадии их проектирования. Для этого создано специальное программное обеспечение (свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2000610907 от 14.09.2000 г.). Зависимость для определения рациональных давлений воздуха в шинах также может быть использована при создании систем автоматического регулирования давления воздуха в шинах.

Результаты исследований рекомендуются к использованию на заводах тракторо- и сельхозмашиностроения, автомобильной промышленности, на предприятиях по производству шин и колес, в конструкторских организациях и научно-исследовательских институтах, в ВУЗах, на сельскохозяйственных и других предприятиях, занимающихся эксплуатацией колесных машин.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на научно-технических конференциях ЧГАУ (г. Челябинск, 1992...2003 гг.), Кустанайского СХИ (г. Кустанай, 1995 г.), ОГАУ (г. Оренбург, 1996 г.), МГАУ (г. Москва, 1993 г.), всесоюзной научно-технической конференции (г.Тамбов, 1990 г.).

**Публикации.** Основное содержание диссертационной работы отражено в 12 публикациях.

**Объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов и рекомендаций, списка использованной литературы и приложений. Содержит 127 страниц текста, включая 30 рисунков, 8 таблиц, 5 приложений, 125 наименования использованных литературных источников.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертации, ее научная новизна и практическая значимость, сформулированы цель и задачи исследований.

**В первой главе** «Состояние вопроса и задачи исследования» рассмотрены труды по вопросу качения колеса и колесных машин Е.А. Чудакова, В.И. Кнороза, В.А. Петрушова, В.Н. Кычева, Б.М. Куликова, Ю.Г. Горшкова и др. Анализ существующих оценочных показателей работы пневматического колесного движителя показал, что оценочные показатели в своем большинстве служат для количественной оценки и не учитывают составляющие потерь энергии при качении, а также влияние на работу пневматического колеса такого важного фактора, как давление воздуха в шине; показаны положительные и отрицательные качества колесных машин с заблокированным приводом ведущих мостов, причем отрицательные качества связаны с кинематическим несоответствием, возникающим ввиду различия радиусов качения колес разных мостов; рассмотрены возможные пути устранения кинематического несоответствия, наиболее перспективным из которых является выбор рацио-

нальных давлений воздуха в шинах.

Попытка теоретического сопоставления давлений воздуха в шинах колес разных осей с вертикальными нагрузками на них с точки зрения кинематического соответствия представлена выражением (1). Но данное сопоставление не нашло широкого практического применения ввиду его значительной погрешности, т.к. оно не учитывает характеристики самих шин и основано на условии равенства радиусов качения колес, находящихся в ведомом режиме, хотя колеса машины с заблокированным приводом, как правило, находятся в ведущем режиме (при наличии крутящего момента). А при передаче через колесо крутящего момента происходит еще и тангенциальная деформация шины, влияющая на радиусы качения колес.

$$P_1 = P_2 \cdot \frac{R_{z_1}}{R_{z_2}}, \quad (1)$$

где  $P_1, P_2$  – давление воздуха в шинах колес, соответственно, первой и второй оси, Па;  $R_{z_1}, R_{z_2}$  – нормальные реакции опорной поверхности на колеса, соответственно, первой и второй оси, Н.

Проведенный анализ работ показывает, что в настоящее время имеются пробелы в области изучения вопросов качения пневматического колеса и колесной машины с заблокированным приводом ведущих мостов. Практически отсутствуют аналитические зависимости, позволяющие оценить работу пневматического движителя не только с количественной стороны, но и с учетом составляющих потерь энергии при его качении. Это необходимо для более детального изучения влияния различных факторов, в том числе давления воздуха в шине, на процесс качения колеса с целью последующей оптимизации работы самого пневматического движителя. Также отсутствуют приемлемые для расчетов выражения по определению рациональных значений давления воздуха в шинах машин с заблокированным приводом ведущих мостов, хотя выбор рациональных давлений является одним из наиболее целесообразных путей устранения кинематического несоответствия и снижения потерь энергии в целом при движении колесных мобильных средств. Все это позволило выдвинуть научную гипотезу: в совершенствовании системы «пневматический колесный движитель – межосевой заблокированный привод – твердая несущая поверхность» важную роль играет выбор рациональных давлений воздуха в шинах. Анализ ранее проведенных исследований и выдвинутая научная гипотеза определили задачи исследования.

**Во второй главе** «Теоретические предпосылки к предмету исследования» представлено теоретическое исследование потерь энергии на качение пневматического движителя. На основе анализа мощностного баланса колеса получена формула определения КПД движителя с учетом составляющих потерь энергии

$$\eta_k = 1 - j_r - j_d - j_m - j_s. \quad (2)$$

где  $j_{г}$ ,  $j_{м}$ ,  $j_{б}$ ,  $j_{д}$  – коэффициенты, учитывающие, соответственно, гистерезисные потери в шине в результате ее нормальной деформации, потери на тангенциальную деформацию, буксование и другие виды потерь (прилипание протектора шины к опорной поверхности, завихрение воздуха в шине, самоочищаемость протектора и т.д.).

Из этого равенства видно, что при снижении каждой составляющей потерь энергии КПД в целом возрастает.

Изменение давления воздуха в шине оказывает влияние и на величину КПД колесного движителя, зависящего от коэффициентов  $j_{г}$ ,  $j_{д}$ ,  $j_{м}$  и  $j_{б}$ . Коэффициент  $j_{г}$ , в свою очередь, зависит от давления воздуха в шине в связи с тем, что при различных величинах давлений (при прочих равных условиях) шина имеет и различные величины нормальной деформации. Коэффициент  $j_{м}$  также меняется с изменением давления воздуха в шине, т.к. от значения давления зависит ее тангенциальная деформация. Давление воздуха во многом обуславливает конфигурацию и величину площади контакта шины с поверхностью качения, что непосредственно отражается на ее сцепных качествах и, как следствие, на буксовании колеса, т.е. на коэффициенте  $j_{б}$ . Коэффициент  $j_{д}$  практически не изменяется при изменении давления воздуха в шине, т.к. затраты энергии, например, на самоочищаемость протектора и его прилипание к опорной поверхности главным образом зависят от рисунка самого протектора, угловой скорости колеса и состояния поверхности качения. Завихрение воздуха в шине зависит в основном от интенсивности вращения колеса. Учитывая это, коэффициент  $j_{д}$  можно принять постоянным при изменении давления в шине ( $j_{д} = \text{const}$ ).

При наиболее полном соответствии давления воздуха в шине условиям работы колесного движителя (при рациональных давлениях) его КПД будет наибольшим. Поэтому изменение давления воздуха в шине в сторону рационального приведет к изменению (повышению) КПД. Это изменение КПД, с учетом выражения (2) и обозначив коэффициенты  $j_{г}$ ,  $j_{д}$ ,  $j_{м}$  и  $j_{б}$  до выбора рациональных значений давления воздуха в шинах соответственно  $j_{гд}$ ,  $j_{дд}$ ,  $j_{мд}$  и  $j_{бд}$ , а после выбора –  $j_{гп}$ ,  $j_{дп}$ ,  $j_{мп}$  и  $j_{бп}$ , можно аналитически выразить следующим образом

$$\Delta \eta_{к} = \eta_{кп} - \eta_{кд} = (j_{гд} + j_{мд} + j_{бд}) - (j_{гп} + j_{мп} + j_{бп}) \quad (3)$$

где  $\eta_{кп}$  – КПД движителя после выбора рационального давления воздуха в шине;  $\eta_{кд}$  – КПД движителя до выбора рационального давления воздуха в шине;  $\Delta \eta_{к}$  – изменение КПД движителя при изменении давления воздуха в шине.

При различных давлениях воздуха в шине  $j_{дп} = j_{дд} = j_{д} = \text{const}$ . Поэтому эти коэффициенты не вошли (сократились) в выражении (3).

Таким образом, формула (2) позволяет отдельно учитывать составляющие потерь энергии при качении колеса. Формула (3) показывает, на какие из составляющих потерь энергии, а значит и на КПД движителя в целом, оказы-

валяет влияние изменение внутришинного давления. То есть определены те составляющие потерь энергии, которые необходимо принимать во внимание при выборе рациональных давлений воздуха в шине.

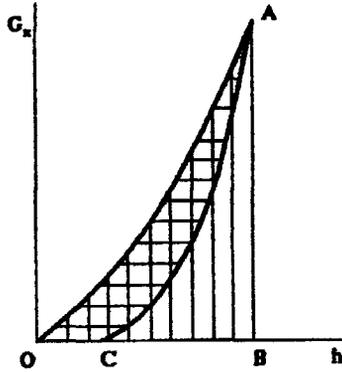


Рис. 1 Нагрузочная характеристика шины

Рассмотрим каждую составляющую потерь энергии. Для оценки гистерезисных потерь от нормальной деформации шины (рис.1) нужно сравнить работу, затраченную на деформацию шины под действием вертикальной нагрузки  $G_k$  ( $h$  – нормальная деформация шины), с работой при ее разгрузке. Работа  $A_d$  при нагружении шины равна площади  $OAB$ , а работа  $A_b$  при разгрузке – площади  $CAB$ . Отрезок  $OC$  характеризует остаточную деформацию шины  $\Delta h$  ( $\Delta h = OC$ ), а площадь  $OAC$  ту часть работы, которая была затрачена на внутреннее трение в материалах шины  $A_r$ .

Остаточная деформация  $\Delta h$  (после нагружения и разгрузки колеса) может исчезнуть, если раскрутить колесо с определенной угловой скоростью  $\omega$ . При вращении колеса на шину действует центробежная сила инерции  $F_{ц}$ , под действием которой шина вытягивается в радиальном направлении, или происходит приращение радиуса колеса (рис.2).

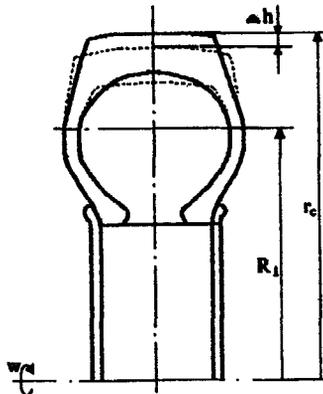


Рис. 2. Схематичное изображение поперечного профиля колеса

При деформации шины на величину  $h = OB$  под действием вертикальной нагрузки затрачивается работа  $A_{\Delta}$  при снятии же нагрузки – работа внутренних сил  $A_{\nu}$ . Эти силы уменьшают деформацию шины на величину отрезка  $BC$  (рис.1). При вращении колеса с определенной угловой скоростью затрачивается работа центробежных сил инерции  $A_{и}$  на преодоление остаточной деформации  $\Delta h$ , т.е. деформируемая область шины полностью возвращается в исходное состояние (полностью восстанавливается). Поэтому работа, затраченная на деформацию шины  $A_{\Delta}$ , численно равна работе на ее восстановление или сумме работ  $A_{\nu}$  и  $A_{и}$

$$A_{\Delta} = A_{\nu} + A_{и}. \quad (4)$$

Из рис. 1 также видно, что площадь  $OAB$  ( $A_{\Delta}$ ) равна сумме площадей  $SAB$  ( $A_{\nu}$ ) и  $OAC$  ( $A_{г}$ )

$$A_{\Delta} = A_{\nu} + A_{г}. \quad (5)$$

Решая совместно уравнения (4) и (5), получим, что

$$A_{г} = A_{и}. \quad (6)$$

То есть работа  $A_{г}$ , затраченная на внутреннее трение в материалах шины (гистерезис), численно равна работе центробежной силы инерции  $A_{и}$ , идущей на преодоление остаточной деформации  $\Delta h$ , вызванной потерями энергии. Поэтому для нахождения работы  $A_{г}$  достаточно определить равную ей работу  $A_{и}$ .

Определив работу  $A_{и} = A_{г}$  с помощью известного математического аппарата и делая ряд преобразований, получим составляющую коэффициента сопротивления качению  $f_{г}$ , учитывающую потери от нормальной деформации шины

$$f_{г} = \frac{m_{ш} \cdot k_{ш}^2 \cdot \left( 2R_1 - \frac{k_{ш}}{P_{ш}} \right)}{4\pi \cdot k_0 \cdot m_0 \cdot \left( r_c - \frac{k_{ш}}{P_{ш}} \right) \cdot r_k^0 \cdot R_z \cdot P_{ш}^2}. \quad (7)$$

где  $m_{ш}$  – масса шины, кг;  $k_{ш}$  – коэффициент, связывающий остаточную деформацию шины с давлением воздуха в ней, м·Па;  $R_1$  – расстояние от оси вращения колеса до центра тяжести сечения профиля шины

( $R_1 = \frac{V_{ш}}{2\pi S_{ш}} = \frac{m_{ш}}{2\pi S_{ш} \cdot \rho}$ ), м;  $V_{ш}$  – объем материала шины, м<sup>3</sup>;  $S_{ш}$  – площадь по-

перечного сечения профиля шины, м<sup>2</sup>;  $\rho$  – средняя плотность материала шины, кг/м<sup>3</sup>;  $P_{ш}$  – давление воздуха в шине, Па;  $k_0$  – коэффициент пропорциональности приращению радиуса колеса от центробежной силы инерции, м/Н;  $m_0$  – масса, приходящаяся на 1 см<sup>2</sup> середины поверхности беговой дорожки шины, кг;  $r_c$  – свободный радиус колеса, м;  $r_k^0$  – радиус качения колеса в ведомом режиме, м;  $R_z$  – нормальная реакция опорной поверхности на колесо, Н.

Полученная зависимость может быть использована при исследовательских и конструкторских разработках ввиду того, что она достаточно полно раскрывает взаимосвязь и влияние на потери энергии параметров пневматического колеса: линейные размеры колеса и нормальная реакция опорной поверхности на колесо, масса и материал шины (его плотность), площадь поперечного сечения профиля и объем материала шины.

При этом, выведенная зависимость (7) теоретически подтверждает, что при качении колеса с повышением давления воздуха в шине (при прочих равных условиях) потери энергии на ее нормальную деформацию снижаются. Поэтому для уменьшения потерь энергии давление в шине должно быть как можно выше, но не превышать максимально допустимого значения  $P_{\max}$ , установленного для каждой модели шины. Тогда, исходя из выражения (7), можно записать условие минимума  $f_r$

$$\text{если } P_{\text{ш}} \rightarrow P_{\max}, \text{ то } f_r \rightarrow \min \quad (8)$$

Иными словами, при выборе рационального давления воздуха в шине необходимо учитывать потери энергии на ее нормальную деформацию, принимая во внимание условие (8). Следует также отметить, что формула (7) выведена с учетом нормальной деформации шины и поэтому справедлива как для твердой, так и для деформируемой опорных поверхностей.

Рассмотрение вопроса влияния изменения давления воздуха в шинах на потери энергии от тангенциальной деформации и буксования колеса целесообразно производить с учетом схемы привода машины. Так, если колеса установлены на машине с заблокированным приводом ведущих мостов, то в результате наличия кинематического несоответствия происходит неравномерное распределение моментов по осям. Это оказывает большое влияние на потери от тангенциальной деформации шин и на потери от буксования колес.

Для более детального анализа влияния давления воздуха в шинах на потери энергии запишем уравнение мощностного баланса в развернутой форме для двухосной машины при установившемся движении по твердой горизонтальной опорной поверхности (без отбора мощности через ВОМ)

$$N_e = N_{гп} + N_{гз} + N_{мп} + N_{мз} + N_{бп} + N_{бз} + N_{дп} + N_{дз} + N_{тр} + N_{\omega} + N_{кр}, \quad (9)$$

где  $N_e$  – эффективная мощность двигателя, Вт;  $N_{гп}$ ,  $N_{гз}$  – мощности, затрачиваемые на нормальную деформацию (гистерезис) шин, соответственно, передних и задних колес в результате действия на них вертикальных нагрузок;  $N_{мп}$ ,  $N_{мз}$  – мощности, затрачиваемые на тангенциальную деформацию шин, соответственно, передних и задних колес в результате приложения к ним крутящих моментов, Вт;  $N_{бп}$ ,  $N_{бз}$  – мощности, теряемые на буксование, соответственно, передних и задних колес, Вт;  $N_{дп}$ ,  $N_{дз}$  – мощности, расходуемые на другие виды потерь энергии в шинах, соответственно, передних и задних колес (на прилипание протектора шины к опорной поверхности, на завихрение воздуха в шине, на самоочищаемость протектора и т.д.), Вт;  $N_{тр}$  – мощность, расходуемая на механические потери в трансмиссии, Вт;  $N_{\omega}$  – мощность, рас-

ходуемая на сопротивление воздуха;  $N_{кр}$  — мощность на крюке, Вт.

Мощность  $N$ , расходуемая на качение, буксование, сопротивление воздуха и механические потери в узлах трансмиссии определяется разностью эффективной мощности двигателя  $N_e$  и мощности на крюке  $N_{кр}$

$$N = N_e - N_{кр} = N_{гп} + N_{гз} + N_{мп} + N_{мз} + N_{бп} + N_{бз} + N_{дп} + N_{дз} + N_{тп} + N_{\omega} \quad (10)$$

Из полученного выражения видно, что

$$N \rightarrow \min \text{ при } N_{гп} + N_{гз} + N_{мп} + N_{мз} + N_{бп} + N_{бз} + N_{дп} + N_{дз} + N_{тп} + N_{\omega} \rightarrow \min. \quad (11)$$

Когда сумма мощностей (11) стремится к минимуму, будет и выше тяговый КПД ( $\eta_r$ ), который можно выразить из выражения (9)

$$\eta_r = \frac{N_{кр}}{N_e} = 1 - \frac{N_{гп} + N_{гз} + N_{мп} + N_{мз} + N_{бп} + N_{бз} + N_{дп} + N_{дз} + N_{тп} + N_{\omega}}{N_e}. \quad (12)$$

Необходимо напомнить, что потери энергии на нормальную деформацию шины (гистерезисные потери), на тангенциальную деформацию шины и на буксование колеса вошли в выражение (3) как потери, которые следует учитывать при выборе рациональных давлений воздуха в шинах.

Мощности  $N_{гп}$  и  $N_{гз}$ , во многом определяются величиной давления воздуха в шинах. Учитывая условие (8), для снижения  $N_{гп}$  и  $N_{гз}$  необходимо иметь максимально возможные значения давлений воздуха в шинах колес передней  $P_n$  и задней  $P_3$  осей. С учетом этого можно записать следующее

$$\text{если } P_n + P_3 \rightarrow \max, \text{ то } N_{гп} + N_{гз} \rightarrow \min \quad (13)$$

Мощности  $N_{мп}$ ,  $N_{мз}$ ,  $N_{бп}$ ,  $N_{бз}$  и  $N_{тп}$  зависят от распределения крутящих моментов по осям машины. Чем больше кинематическое несоответствие между колесами передней и задней осей, тем больше неравномерность распределения крутящих моментов, а значит и больше эти мощности. В связи с этим давления воздуха в шинах передних и задних колес должны быть такими, чтобы исчезло кинематическое несоответствие (чтобы радиусы качения колес передней  $r_{кп}$  и задней  $r_{кз}$  осей были равны между собой) и наблюдалось равномерное распределение моментов, приложенных к колесам передней  $M_n$  и задней  $M_3$  осей машины. Поэтому можно записать следующие совокупности условий

$$\text{если } \begin{cases} r_{кп} = r_{кз} \\ M_n = M_3 \end{cases}, \text{ то } N_{мп} + N_{мз} \rightarrow \min \quad (14)$$

$$\text{если } \begin{cases} r_{кп} = r_{кз} \\ M_n = M_3 \end{cases}, \text{ то } N_{бп} + N_{бз} \rightarrow \min \quad (15)$$

$$\text{если } \begin{cases} r_{кп} = r_{кз} \\ M_n = M_3 \end{cases}, \text{ то } N_{тп} \rightarrow \min \quad (16)$$

Изменение давления воздуха в шинах практически не влияет на величины  $N_{дп}$  и  $N_{дз}$ . Эти потери также не вошли в выражение (3), определяющее составляющие потерь энергии, которые следует учитывать при выборе радио-

нальных давлений воздуха в шине. То же самое можно сказать и о величине  $N_w$ , прежде всего зависящей от плотности воздушной среды, лобовой площади машины и скорости ее движения. В связи с этим, мощности  $N_{дп}$ ,  $N_{дз}$  и  $N_w$  можно принять константами при изменении давления воздуха в шине и не учитывать при выборе рациональных значений этого параметра.

Тогда, с учетом вышеизложенного, условия (13) и совокупности условий (14), (15) и (16) можно записать совокупность условий выбора рациональных давлений воздуха в шинах с точки зрения минимума потерь энергии на передвижение двухосной колесной машины с заблокированным приводом ведущих мостов

$$\text{если } \begin{cases} r_{кп} = r_{кз} \\ M_n = M_z \\ P_n = P_{\max}, \text{ при } R_{zn} \geq R_{zз} \\ P_z = P_{\max}, \text{ при } R_{zз} > R_{zn} \\ P_{\max} \geq P_n \geq P_{\min} \\ P_{\max} \geq P_z \geq P_{\min} \end{cases}, \text{ то } N \rightarrow \min, \quad (17)$$

где  $P_n$ ,  $P_z$  – давления воздуха в шинах колес передней и задней осей, Па;  $P_{\max}$ ,  $P_{\min}$  – максимально и минимально допускаемые давления воздуха в шинах, Па;  $R_{zn}$  – нормальная реакция опорной поверхности, действующая на колесо переднего моста, Н;  $R_{zз}$  – нормальная реакция опорной поверхности, действующая на колесо заднего моста, Н.

Данная совокупность условий (17) не позволяет рассчитать рациональные значения давлений воздуха в шинах, т.к. из нее не видно связи различных параметров колеса с давлениями воздуха. Для того, чтобы получить такую связь, сделаем ряд преобразований.

Радиусы качения колес можно найти по известной формуле Е.А. Чудакова, которые при отсутствии кинематического несоответствия равны между собой

$$r_{кп} = r_{кз} = r_{кп}^0 - \lambda_n \cdot M_n = r_{кз}^0 - \lambda_z \cdot M_z \quad (18)$$

где  $r_{кп}^0$ ,  $r_{кз}^0$  – радиусы качения колес передней и задней осей в ведомом режиме, м;  $\lambda_n$ ,  $\lambda_z$  – коэффициенты тангенциальной эластичности шин колес передней и задней осей, м/Н·м.

Непосредственное влияние на коэффициент тангенциальной эластичности шины  $\lambda_k$  оказывают нормальная реакция на колесо  $R_z$  и давление воздуха  $P_{ш}$  в самой шине

$$\lambda_k = \lambda^* \cdot \left[ 1 - \left( 1 - \frac{G_k^*}{R_z} \right) \cdot \frac{P_{ш}}{P^*} \right], \quad (19)$$

где  $\lambda^*$ ,  $G_k^*$ ,  $P^*$  – характеристические значения соответствующих параметров (тангенциальная эластичность, нагрузка на колесо, давление в шине), являю-

щиеся константами для данной шины.

Решая выражение (18) и делая ряд преобразований с учетом равенства (19) и совокупности условий (17), получим систему (20) для колесных машин с любым числом ведущих мостов. При этом максимально допускаемое давление должно быть установлено в шинах более нагруженного моста, а относительно этого давления – рассчитаны давления в шинах других менее нагруженных мостов. Величины давлений воздуха в шинах также не должны выходить за пределы допускаемых значений  $P_{\min}$  и  $P_{\max}$ . В наиболее общем виде такую систему для определения рациональных давлений воздуха в шинах с точки зрения минимума потерь энергии на передвижение колесной машины можно представить в следующем виде

$$\begin{cases} P_0 = P_{\max}, & \text{если } R_{z0} \geq R_{zi} \\ P_i = P_0 \cdot \frac{R_{zi}}{R_{z0}} \cdot \frac{R_{z0} - G_k^*}{R_{zi} - G_k^*} \\ P_i = P_{\min}, & \text{если } P_i < P_{\min} \end{cases} \quad (20)$$

где  $R_{z0}$  – нормальная реакция опорной поверхности, действующая на колесо наиболее нагруженного моста, Н;  $R_{zi}$  – нормальная реакция опорной поверхности, действующая на колесо менее нагруженного  $i$ -го моста, Н;  $P_0$  – давление воздуха в шинах колес наиболее нагруженного моста, Па;  $P_i$  – давление воздуха в шинах колес менее нагруженного  $i$ -го моста, Па.

При расчетах с помощью системы (20) значение  $P_i$  будет иметь положительный знак, т.к. величина  $G_k^*$  всегда больше максимально допускаемой нагрузки на колесо, т.е.  $G_k^* > R_{z0}$  и  $G_k^* > R_{zi}$ .

На основе системы (20) создана программа для расчета рациональных давлений воздуха в шинах в двух вариантах. Один вариант позволяет рассчитывать рациональные давления непосредственно в зависимости от введенных данных. Другой вариант позволяет вести расчеты, изменяя лишь некоторые входные данные. Это делает программу удобной для анализа влияния отдельных факторов на изменение рациональных значений давления воздуха в шинах.

С целью сравнительного анализа предлагаемых и существующих теоретических положений на рис. 3 представлены графики изменения рационального значения давления в шинах второй оси  $P_2$  в зависимости от изменения реакции опорной поверхности на колесо второй оси  $R_{z2}$ . Сплошной линией представлен график 1, построенный на основе системы (20). Прерывистой линией представлен график 2, рассчитанный по соотношению (1). Оба графика показывают, что с повышением реакции опорной поверхности на колесо величина рационального давления воздуха в шине возрастает, и наоборот. Но по абсолютным значениям практически между всеми точками графиков, построенных по системе (20) и соотношению (1), имеется существенная разница (до 50 %). Это связано с тем, что выражение (1) выведено из условия равенст-

ва радиусов качения колес, находящихся в ведомом режиме. Поэтому оно не учитывает дополнительное изменение радиуса качения под действием крутящего момента, подведенного к колесу. Вследствие этого выражение (1) имеет значительную погрешность, что видно из рис. 3. Совпадение наблюдается только в частном случае: в случае одинаковых реакций опорной поверхности на колеса первой и второй осей. При этом величина рационального давления воздуха в шинах второй оси совпадает со значением давления воздуха в шинах первой оси.

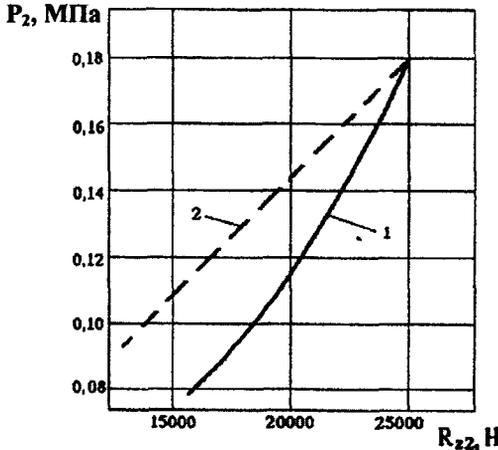


Рис. 3. Зависимость  $P_2 = f(R_{zz})$  для шины 21,3R24 /модель ФД-14А/ (реакция на колесо первой оси 25000 Н; давление воздуха в шинах первой оси 0,18 МПа; величина  $G_k = 46300$  Н)

1 – график по системе (20); 2 – график по выражению (1)

Как показывают приведенные теоретические предпосылки, при выборе рациональных давлений воздуха в шине /выражение (2)/ следует принимать во внимание такие составляющие потерь энергии, как потери энергии на нормальную и тангенциальную деформации шины и буксование колеса. Причем потери энергии на тангенциальную деформацию и буксование колеса имеет смысл рассматривать с учетом схемы привода колесной машины. При решении вопросов выбора рациональных давлений воздуха в шинах машин с блокированным приводом ведущих мостов при их движении по твердым опорным поверхностям необходимо учитывать, как показывает анализ выражений (10), (11) и (12), потери энергии на буксование колес, нормальную и тангенциальную деформации шин, а также потери энергии в трансмиссии. Потери на нормальную деформацию снижаются с повышением давления воздуха в шинах, что видно из предложенной зависимости (7) и условий (8) и (13). А потери в трансмиссии, на тангенциальную деформацию и буксование, уменьшаются с исключением кинематического несоответствия, что подтверждается совокупностями условий (14), (15) и (16). С учетом этого, наименьшие суммарные затраты энергии при движении будут тогда, когда в шинах

более нагруженного моста устанавливаются максимально допускаемые давления, а в шинах остальных мостов – такие величины давлений, при которых наблюдается кинематическое соответствие: равенство радиусов качения колес всех осей машины и равномерное распределение моментов по осям. На этом основана совокупность условий (17) выбора рациональных давлений воздуха в шинах с точки зрения минимума потерь энергии (при прочих равных условиях) на передвижение колесной машины с заблокированным приводом ведущих мостов. При этом учитывается, что изменение давления воздуха в шине ограничено минимально и максимально допускаемыми значениями. Исходя из совокупности условий (17) получена система (20) для многоосных машин, позволяющая рассчитывать рациональные давления воздуха в шинах при движении по относительно твердым опорным поверхностям. Данная система показывает, что выбор рациональных значений давлений воздуха в шинах с точки зрения наименьших затрат энергии на передвижение колесных машин с заблокированным приводом ведущих мостов по твердым дорожным покрытиям зависит от распределения нормальных реакций опорной поверхности по колесам различных осей машины и величины  $G_x^*$ , являющейся постоянной для конкретной модели шины.

**В третьей главе «Методика экспериментальных исследований»** изложена разработанная методика экспериментальных исследований, представлены необходимые приборы и оборудование.

Целью проводимых экспериментальных исследований является проверка основных положений теоретического анализа – системы (20) для определения рациональных давлений воздуха в шинах колесных машин с заблокированным приводом ведущих мостов при движении по твердым опорным поверхностям.

Для этого были проведены экспериментальные исследования с машинно-тракторным агрегатом на базе колесного трактора Т-150К и транспортного полуприцепа ППТС-9 на дорогах с твердой опорной поверхностью.

Учитывая, что рациональные давления воздуха в шинах должны обеспечить минимальный расход энергии (топлива) на качение, за критерий оценки правильности выбора давления при проведении экспериментов был принят непосредственно сам расход топлива. Скорость движения при экспериментах оставалась постоянной. Реакции по колесам трактора изменялись путем различной загрузки полуприцепа.

Для достижения поставленной цели при экспериментальных исследованиях были решены следующие задачи:

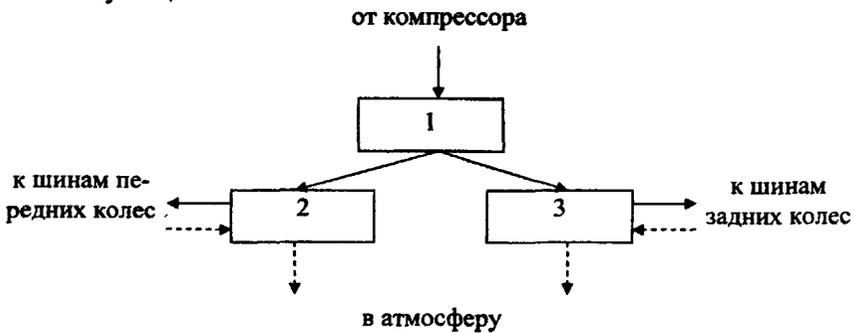
- проведены экспериментальные исследования для различных распределений реакций опорной поверхности по колесам передней и задней осей трактора (для различного распределения нагрузок по осям трактора);
- исследовано изменение расхода топлива в зависимости от изменения давления воздуха в шинах для каждого распределения реакций опорной по-

верхности по колесам передней и задней осей трактора при неизменности всех других параметров;

- определены рациональные величины давления воздуха в шинах, соответствующие минимальному расходу топлива, для каждого распределения реакций опорной поверхности по колесам различных осей трактора.

Для удобства и ускорения проведения экспериментов трактор был оборудован системой централизованного регулирования давления воздуха в шинах. Регулировка давления воздуха осуществлялась отдельно для шин каждого моста трактора.

На рисунке 4 представлена принципиальная блок-схема системы регулирования давления воздуха в шинах с автоматическим его поддержанием во время эксплуатации.



- 1 – воздушный баллон; 2 – регулятор давления воздуха в шинах передних колес;  
3 – регулятор давления воздуха в шинах задних колес

Рис. 4. Принципиальная блок-схема централизованного регулирования давления воздуха в шинах

Система работает следующим образом. С помощью регуляторов устанавливаются необходимые значения давлений для шин передних и задних колес. Подаваемый от компрессора воздух через баллон поступает к регуляторам, а от них к шинам (на схеме показано сплошными линиями). Когда давление в шинах станет равным значениям давления, установленных регуляторами, подача воздуха прекратится. Снижение давления в шинах также происходит с помощью регуляторов аналогичным образом. Во время проведения экспериментов давления воздуха в шинах дополнительно контролировались манометрами, установленными в тракт подачи воздуха между регуляторами и шинами. В системе регулирования давления воздуха в шинах были применены высоконадежные компоненты, используемые на машинах УРАЛ и ГАЗ.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» приведены результаты по определению рациональных давлений воздуха в шинах, которые обрабатывались с помощью известных методик и системы MathCAD.

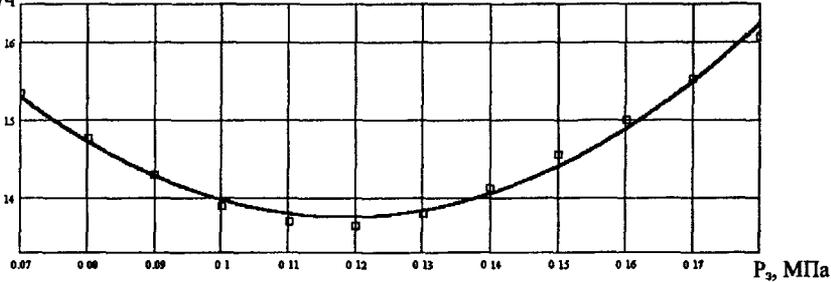
По результатам экспериментов каждой серии составлены уравнения регрессии и построены графики изменения расхода топлива от изменения давле-

ния воздуха в шинах задней оси (пример графика приведен на рис. 5).

При этом давления воздуха в шинах наиболее нагруженной передней оси оставались постоянными в каждой серии экспериментов  $P_{II} = 0,18$  МПа.

Результаты исследований показывают, что в каждой серии экспериментов имеется рациональное значение давления, соответствующее минимальному расходу топлива.

$G_e$ , кг/ч



□ — средние значения по результатам эксперимента; — — по уравнению регрессии.

Рис. 5. Зависимость расхода топлива  $G_e$  от давления в шинах задней оси  $P_3$  (загрузка полуприцепа на 75 %: распределение реакций опорной поверхности  $2R_{2п} = 51300$  Н,  $2R_{2з} = 31800$  Н)

Нужно отметить, что при изменении давлений воздуха в шинах в ту или иную сторону от рациональных значений расход топлива может увеличиваться до 18 %.

По результатам регрессионного анализа получена экспериментальная зависимость (21), которая позволяет определять рациональные значения давлений воздуха в шине от изменения реакции опорной поверхности на колесо задней оси  $R_{2з}$

$$P_{3 \text{ рац}}^0 = 1,7523 \cdot 10^{-10} \cdot R_{2з}^2 + 4,5369 \cdot 10^{-6} \cdot R_{2з} - 0,05433. \quad (21)$$

Основные результаты экспериментальных исследований сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Рациональные значения давлений воздуха в шинах в зависимости от распределения реакций опорной поверхности по колесам трактора Т-150К

Машинно-тракторный агрегат	Реакция опорной поверхности на колеса передней оси $2R_{2п}$ , Н	Реакция опорной поверхности на колеса задней оси $2R_{2з}$ , Н	Рациональное давление в шинах передней оси, МПа	Рациональное давление в шинах задней оси, МПа
Трактор с пустым полуприцепом (загрузка 0 %)	53650	33400	0,18	0,072
Трактор с полуприцепом, загруженным на 25 %	53020	35300	0,18	0,078
Трактор с полуприцепом, загруженным на 50 %	52270	37900	0,18	0,094
Трактор с полуприцепом, загруженным на 75 %	51300	41800	0,18	0,119
Трактор с полуприцепом, загруженным на 100 %	50280	45850	0,18	0,141

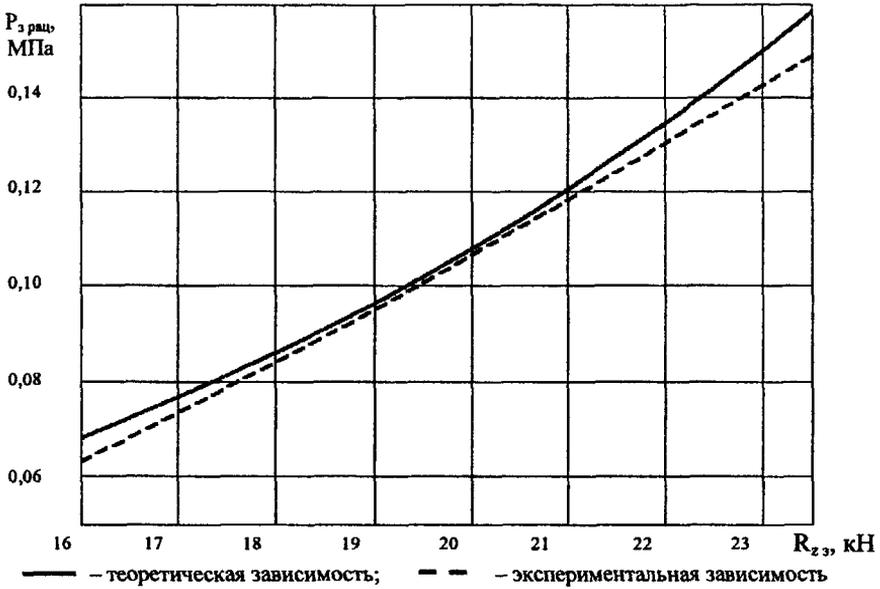


Рис. 6. Зависимость изменения рационального значения давления воздуха в шине от изменения реакции опорной поверхности на колесо

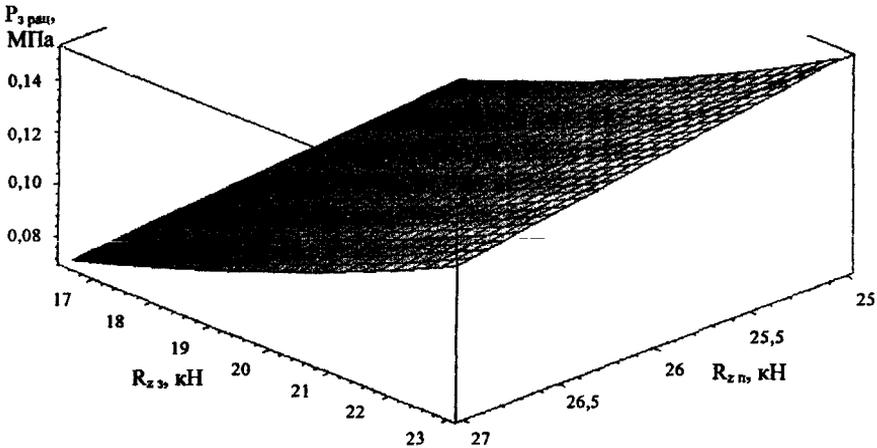


Рис. 7. Изменение рационального значения давления воздуха в шинах в зависимости от изменения нормальных реакций опорной поверхности на колеса передней и задней осей

Как видно из рис. 6, построенные по теоретической и экспериментальной зависимостям графики близки между собой. Наблюдаются расхождения не более 9 %. Они показывают, что с возрастанием нормальной реакции опорной поверхности на колесо значение рационального давления воздуха в шине повышается. Это подтверждает и трехмерный график (рис. 7), постро-

енный по теоретической зависимости на основе экспериментальных результатов. Из него видно, что рациональное давление в шинах заднего моста также зависит от величины реакции опорной поверхности на переднее колесо.

Таблица 2

Результаты сравнительных экспериментов с трактором Т-150К и полуприцепом 1ПТС-9

Машинно-тракторный агрегат	Реакция опорной поверхности на переднюю ось $2R_{\text{пр}}$ , Н	Реакция опорной поверхности на заднюю ось $2R_{\text{зп}}$ , Н	Расход топлива при рациональных давлениях воздуха в шинах, кг/ч $P_n = 0,18$ МПа	Расход топлива при давлениях воздуха в шинах, предлагаемых в справочной литературе, кг/ч	
				$P_n = 0,16$ МПа, $P_n = 0,18$ МПа	
				При движении трактора с одним мостом	при движении трактора с двумя мостами
Трактор с пустым полуприцепом (загрузка 0 %)	53650	33400	12,17 ( $P_n = 0,072$ МПа)	13,23	14,88
Трактор с полуприцепом, загруженным на 50 %	52270	37900	13,17 ( $P_n = 0,094$ МПа)	14,63	15,89
Трактор с полуприцепом, загруженным на 100 %	50280	45850	14,44 ( $P_n = 0,141$ МПа)	16,41	16,46

Для оценки эффективности использования рациональных давлений были проведены сравнительные эксперименты (таблица 2) с давлениями воздуха в шинах, предлагаемыми в справочной литературе. При этом движение трактора происходило как с двумя ведущими мостами, так и с одним ведущим мостом.

Как показывают результаты сравнительных экспериментов, расход топлива при рациональных давлениях воздуха в шине ниже расхода топлива при давлениях, предлагаемых в справочной литературе. Это наблюдается во всех случаях, представленных в таблице 2. Экономия топлива при использовании рациональных давлений составляет примерно от 8 до 16 %.

Также подтверждены воспроизводимость опытов и адекватность математической модели.

В пятой главе «Оценка экономической эффективности» приведены расчеты, результаты которых показывают, что использование предложенных рациональных значений давления воздуха в шинах трактора Т-150К при осуществлении им транспортных операций позволяет понизить расход топлива и получить годовой экономический эффект на один трактор около 4750 руб.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. При выборе рациональных давлений воздуха в пневматическом двигателе достаточно учитывать потери энергии на буксование колеса, нормальную и тангенциальную деформации шины (3). Предложенная зависимость (7) теоретически подтверждает ранее установленные закономерности снижения затрат энергии на нормальную деформацию шины при повышении в ней давления, а также раскрывает взаимосвязи между параметрами движителя, массой и материалом шины.
2. Выбор рациональных давлений воздуха в шинах колесных машин с заблокированным приводом ведущих мостов должен дополнительно учитывать потери энергии в трансмиссии. Совокупности условий (14), (15), (16) характеризуются тем, что потери энергии в трансмиссии, на тангенциальную деформацию шин и буксование колес уменьшаются с исключением кинематического несоответствия между колесами различных осей машины.
3. Наименьшие суммарные затраты энергии при движении колесной машины будут тогда, когда в шинах более нагруженного моста величины давлений воздуха имеют максимально допускаемые значения, а в шинах других мостов – такие значения давлений, при которых наблюдается кинематическое соответствие между колесами различных осей машины (17).
4. Для расчета рациональных давлений воздуха в шинах с точки зрения наименьших затрат энергии при движении многоосных машин по относительно твердым опорным поверхностям получена система (20). В этой системе выбор рациональных значений давления воздуха в шинах машин с заблокированным приводом ведущих мостов зависит от распределения нормальных реакций опорной поверхности по колесам различных осей машины и величины  $G_k^*$ , являющейся константой для конкретной модели шины.
5. Для конкретных распределений реакций опорной поверхности на колеса передней и задней осей трактора Т-150К при изменении давлений воздуха в шинах изменяется и расход топлива, наименьшее значение которого соответствует рациональным значениям давлений воздуха в шинах (при прочих равных условиях). Так для реакций опорной поверхности на колеса передней 53020 Н и задней 35300 Н осей трактора наименьшему расходу топлива 12,58 кг/ч соответствовали рациональные давления в шинах переднего моста 0,18 МПа, в шинах заднего моста 0,08 МПа. При этом изменение давления в шинах заднего моста от рационального значения до 0,18 МПа увеличивает расход топлива до 18 %.
6. Результаты сравнительных экспериментов по сопоставлению расхода топлива трактором при работе с предлагаемыми рациональными давлениями воздуха в шинах и давлениями, рекомендуемыми в справочной литературе, показали, что во всех случаях наименьший расход топлива наблюдается при использовании рациональных значений давлений. В среднем экономия

топлива составляет 8...15 % (по актам внедрения). Расчет экономической эффективности от использования рациональных давлений, на примере трактора Т-150К, показал, что годовой экономический эффект от экономии топлива составляет около 4750 руб. на одну машину.

7. Созданное программное обеспечение по системе (20) позволяет рассчитывать рациональные значения давлений воздуха в шинах колесных машин, а также исследовать влияние на величины рациональных давлений параметров шин и распределения реакций по мостам машины для целей эксплуатации и проектирования (защищено Свидетельством №2000610907 от 14.09.2000 г.). На основе (20) возможна разработка системы автоматического слежения и управления давлением воздуха в шинах в зависимости от различных условий эксплуатации колесных машин.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Старших В.В., Горшков Ю.Г., Ваулин В.К., Богданов А.В. Анализ механики сцепных качеств пневматических шин при различных скоростях движения транспортных средств. Труды ЧИМЭСХ: Совершенствование условий и безопасности труда в сельском хозяйстве. – Челябинск, 1983, с. 33-38.
2. Горшков Ю.Г., Завора В.А., Богданов А.В. и др. Метод определения внутренних потерь при качении пневматической шины. Труды Алтайского СХИ: Актуальные вопросы эксплуатации и ремонта машинно-тракторного парка. Новосибирск, 1984, с. 78-85.
3. Горшков Ю.Г., Куликов Б.М., Богданов А.В., Старших В.В. Анализ затрат мощности на качение пневматического колеса. Труды ЧИМЭСХ: Повышение технико-экономических показателей сельскохозяйственных тракторов. Челябинск, 1985, с. 60-62.
4. Горшков Ю.Г., Богданов А.В. Нормативы потребности в пневматических шинах тракторов, комбайнов, сельскохозяйственных и мелиоративных машин в сельском хозяйстве. Научно-технический отчет ЧОМС-УралНИИВХ, №ГР 01770123891. – Челябинск, 1986. – 33 с.
5. Горшков Ю.Г., Богданов А.В. и др. Исследование характера износа пневматических шин в условиях сельского хозяйства. Отчет НИР/ЧИМЭСХ №114-86, № ГР 01860022322. – Челябинск, 1987. – 34 с.
6. Богданов А.В., Горшков Ю.Г. Оптимальное соотношение давлений воздуха в шинах колесного трактора. Труды ЧИМЭСХ: Снижение динамичности работы тракторов, их систем и механизмов в эксплуатационных условиях. – Челябинск, 1988, с. 16-22.
7. Богданов А.В., Горшков Ю.Г. О повышении эффективности использования энергонасыщенных колесных тракторов. Уральские нивы, 1988, №5, с. 41-42.

8. Старших В.В., Горшков Ю.Г., Богданов А.В. Влияние колееобразования на управляемость автомобиля и усталость водителя. Труды ЧИМЭСХ: Совершенствование условий и безопасности труда в сельскохозяйственном производстве. – Челябинск, 1989, с. 18-23.
9. Горшков Ю.Г., Богданов А.В. и др. Снижение потерь энергии на качение пневматической шины как фактор повышения экономичности колесных машин и безопасности движения. Труды ЧИМЭСХ: Совершенствование условий и безопасности труда в сельскохозяйственном производстве. – Челябинск, 1990, с. 10-17.
10. Горшков Ю.Г., Старших В.В., Русанов В.М., Богданов А.В., Курчатov Б.В. Влияние радиуса колесного движителя на коэффициент сопротивления качению. Вестник ЧГАУ. Челябинск, 1993, №2, с.92-96.
11. Богданов А.В., Горшков Ю.Г. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2000610907. Программа для расчета оптимальных значений давления воздуха в шинах колесных машин с заблокированным приводом ведущих мостов при движении по твердым опорным поверхностям. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 14.09.2000 г.
12. Горшков Ю.Г., Богданов А.В. Оптимальное давление воздуха в шинах колесных тракторов. Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2003, № 9, с. 15-18.

Подписано к печати 13 ноября 2003 г. Формат 60 x 84/16.  
Объем 1 усл. печ. л. 1,0. Заказ № 406. Тираж 100.

ООП ЧГАУ.  
454080, Челябинск, пр. Ленина, 75.

2003-A

19527

# 19527