

УДК 631.431.73:629.366.027.514

**И. Н. Шило, д-р техн. наук, проф., Ю. В. Чигарев, д-р физ.-мат. наук, проф.,
Н. Н. Романюк, А. Л. Вольский**

СНИЖЕНИЕ УПЛОТНЕНИЯ ПОЧВЫ УПРАВЛЕНИЕМ ДЕМПФИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ ПНЕВМОКОЛЕСНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ

Рассматриваются вопросы уплотнения почв от действующих нагрузок. Показано, что величина вибродинамических нагрузок зависит от параметров эквивалентной колебательной системы и рельефа опорной поверхности. Для снижения уплотнения почв рекомендуется использовать колесо низкого давления и повышенного демпфирования.

Введение

В условиях развития рыночных отношений и обострения конкуренции товаропроизводителей на мировых рынках и рынках СНГ одной из задач, обеспечивающих подъем экономики Республики Беларусь, является выход отечественного сельскохозяйственного машиностроения на качественно новый уровень создаваемых изделий с более высокими требованиями к их производительности, надежности и эксплуатационными характеристиками. При этом сохраняется тенденция к повышению удельной энергонасыщенности машинно-тракторных агрегатов (МТА), происходит усложнение машин и их функциональных возможностей, которое приводит к увеличению числа их узлов и массы, необходимой для развития требуемого тягового усилия.

Повышение скорости движения, переезд тракторов поперек периодически повторяющихся борозд поля, которые имеют волнообразный профиль, приводит к увеличению амплитуд колебаний, ускорений различных точек МТА и вибродинамических нагрузок, действующих на них со стороны опорной поверхности, которые передаются через движители на почву.

Низкочастотные случайные колебания агрегата, вызванные агрофоном, приводят к тому, что силовая нагрузка на ось колеса возрастает в 2–2,9 раза по сравнению с соответствующей статической нагрузкой. При этом нагрузки возрастают с большими ускорениями, достигающими 0,1–0,4g [1, 2]. Возросшие вибродина-

ческие нагрузки приводят к дополнительному сдвигу, переупаковке частиц, разрушают структуру почвы, увеличивают ее плотность и количество пылевидных фракций.

Переуплотненные участки почвы создают повышенное сопротивление при последующих обработках, что ведет к увеличению расхода топлива и снижению производительности МТА. Разрушенная структура почвы не восстанавливается полностью, в результате чего интенсивно обрабатываемая почва с течением времени деградирует и в конечном итоге всё это ведёт к нарушению экологии агроландшафтов.

Сказанное позволяет утверждать, что охрана почв от вредного избыточного уплотнения относится к важнейшей не только экономической проблеме (как считалось ранее), но и к экологической, решение которой способствует сохранению и воспроизводству плодородия почв и устойчивого состояния агроэколандшафтов.

Целью данных исследований явилось снижение уплотнения почвы за счет совершенствования демпфирующих свойств пневмоколесных движителей.

Основная часть

Рассмотрим качение пневматического колеса по деформируемой почве (рис. 1), которое можно представить в виде эквивалентной колебательной системы: двухмассовой при наличии под-

вески (рис. 1, а) и одномассовой – без подвески (рис. 1, б).

Оптимизация конструктивных параметров и режимов работы тракторов, сельскохозяйственных машин и МТА оп-

ределяется, в первую очередь, выбором математико-механических моделей почв, которые достаточно точно описывали бы свойства почвы и их деформирование.

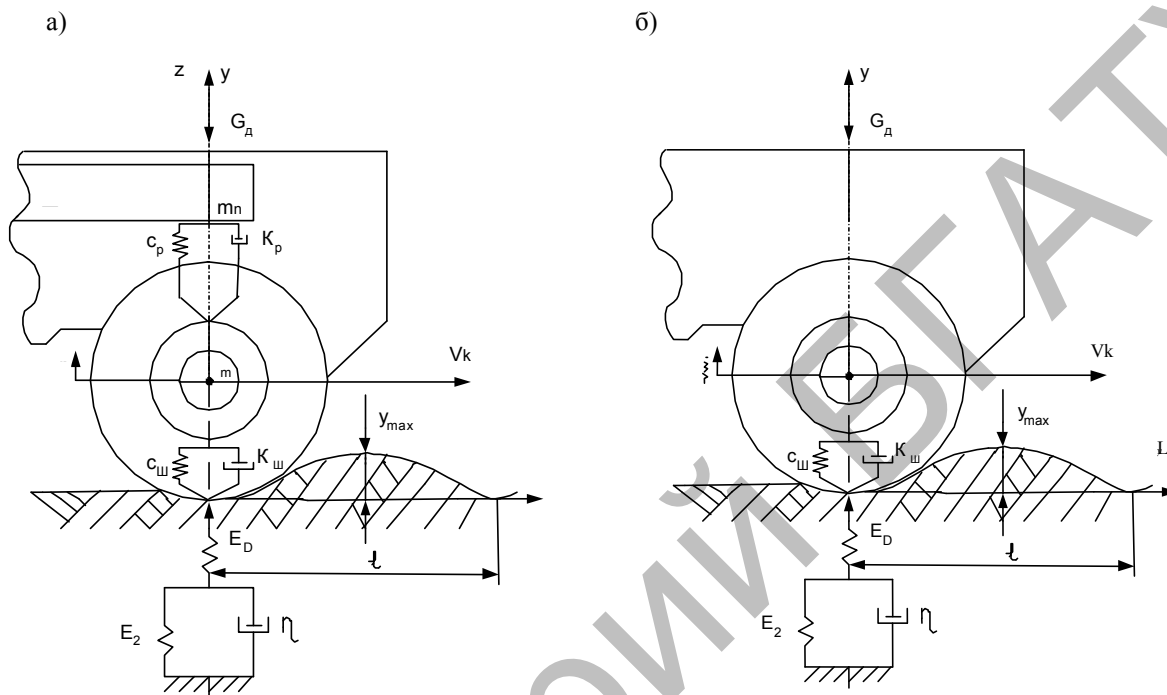


Рис. 1. Схема взаимодействия пневматического колеса с почвой

Для описания закономерностей деформирования почв используют свойства идеальных тел. Упругие свойства тел отображают моделью в виде упругого элемента – пружины, вязкие свойства тел отображают моделью в виде цилиндра, наполненного жидкостью, в которую погружается дырчатый поршень.

Установлено [3–5], что модель обобщенной вязкоупругой среды наиболее точно и полно подходит для описания напряженного и деформированного состояния почв. Данная модель (см. рис. 1) состоит из двух пружин и одного демпфера. Сжатие пружины, модуль упругости которой E_D , физически выражает деформацию, связанную со сжатием цементирующих пленок солей и водных пленок, расположенных между отдельными частицами почвы. Процесс сжатия пружины обратим.

Деформация пружины, модуль упругости которой E_2 , и демпфера (коэффициент вязкости η) выражает смещение частиц почвы, их переупаковку. После снятия нагрузки частицы почвы не возвращаются к исходному положению. Это объясняется тем, что воздух, заключенный в порах, сжимается лишь на несколько процентов и не в состоянии при снятии нагрузки преодолеть силы трения между частицами и вернуть почву к первоначальному объему.

Снизить уплотнение почвы (см. рис. 1) можно за счет повышения ее упругих свойств (весьма проблематично) и уменьшения нагрузок, приходящихся на ось колеса.

Мгновенное значение вертикальной нагрузки $G_D(t)$, приходящейся на ось колеса, найдем по формуле

$$G_D(t) = M(g \pm \ddot{\xi}), \quad (1)$$

где M – масса, нагружающая ось колеса, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; $\ddot{\xi}$ – ускорение колебаний оси колеса, м/с².

Примем, что силы сопротивления в подвеске пропорциональны скорости колебаний остова трактора.

Ускорение колебаний оси колеса $\ddot{\xi}$ зависит от параметров эквивалентной колебательной системы, рельефа опорной поверхности (см. рис. 1) и находится из уравнений:

– при наличии подвески (см. рис. 1, а)

$$\begin{cases} \ddot{z} + 2h_{II}\dot{z} + \omega_{II}^2 z - 2h_{II}\dot{\xi} - \omega_{II}^2 \xi = 0; \\ \ddot{\xi} + 2h_H\dot{\xi} + \omega_H^2 \xi - 2h_{Ho}\dot{z} - \omega_{Ho}^2 z = \\ = Q_y / m = 2h_{III}\dot{y} + \omega_{III}^2 y, \end{cases} \quad (2)$$

где z , \dot{z} , \ddot{z} – амплитуда, скорость и ускорение поддресоренной массы соответственно; ξ , $\dot{\xi}$, $\ddot{\xi}$ – амплитуда, скорость и ускорение оси колеса соответственно; h_{II} , h_H , h_{III} – коэффициент затухания вертикальных колебаний поддресоренной, недресоренной масс и шины соответственно;

$$h_{II} = \frac{K_P}{2m_n}; \quad h_H = \frac{K_P + K_{III}}{2m}; \quad h_{III} = \frac{K_{III}}{2m},$$

где K_P – коэффициент демпфирования (сопротивления) подвески; K_{III} – коэффициент демпфирования шины; m_n , m – поддресоренная и недресоренная массы соответственно; ω_{II} , ω_H , ω_{III} – частота вертикальных колебаний поддресоренной, недресоренной масс и шины соответственно:

$$\omega_{II} = \sqrt{\frac{C_P}{m_n}}; \quad \omega_H = \sqrt{\frac{C_P + C_{III}}{m}}; \quad \omega_{III} = \sqrt{\frac{C_{III}}{m}},$$

где C_P – коэффициент жесткости подвески; C_{III} – коэффициент жесткости шины; h_{Ho} – коэффициент затухания:

$$h_{Ho} = \frac{K_P}{2m};$$

ω_{Ho} – частота колебаний:

$$\omega_{Ho} = \sqrt{\frac{C_P}{m}};$$

Q_y – сила, являющаяся следствием кинематического возбуждения со стороны поля, формирующегося за счет движения колеса по неровностям;

– без подвески (см. рис. 1, б)

$$\begin{aligned} \ddot{\xi} + 2h_{III}\dot{\xi} + \omega_{III}^2 \xi &= Q_y / M = \\ &= 2h_{III}\dot{y} + \omega_{III}^2 y, \end{aligned} \quad (3)$$

где h_{III} – коэффициент затухания вертикальных колебаний шины:

$$h_{III} = \frac{K_{III}}{2M};$$

ω_{III} – частота свободных (собственных) колебаний шины:

$$\omega_{III} = \sqrt{\frac{C_{III}}{M}};$$

M – масса, нагружающая ось колеса:

$$M = m_n + m.$$

Для нахождения силы, являющейся следствием кинематического возбуждения со стороны поля, формирующегося за счет движения колеса по неровностям Q_y , необходимо знать закон изменения профиля поля. Чаще всего для его описания используются периодические функции:

$$y = y_{\max} \sin \lambda t, \quad (4)$$

где y_{\max} – максимальная высота неровности поверхности, м; λ – угловая частота вынужденных колебаний, с⁻¹:

$$\lambda = \frac{2\pi V_K}{l};$$

V_K – скорость движения колеса, м/с; l – половина длины волны неровности поверхности, м.

Снижение вибродинамического воздействия со стороны почвы на энергетические средства тракторных сельскохозяйственных агрегатов является важной научно-технической задачей, решение которой позволит существенно повысить производительность труда и долговечность мобильных сельскохозяйственных агрегатов, улучшить условия работы тракториста.

Анализ формул (1)–(4) показывает, что добиться поставленной задачи можно за счет выравнивания рельефа почвы (что весьма проблематично) и выбора оптимальных параметров подвески и шин.

Решение указанной проблемы с помощью различных систем подрессоривания и связанных с ними автоматических систем регулирования приведет к увеличению массы и габаритов сельскохозяйственной техники, повышению стоимости, что снизит их надежность и конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках.

Для снижения уплотнения почв машинно-тракторными агрегатами, уменьшения вибродинамических нагрузок на элементы ходовой части предлагается использовать колесо низкого давления и повышенного демпфирования (рис. 2), конструкция которого защищена патентами на полезную модель [6, 7].

К ступице 1 присоединены спицы 2, охваченные по периферии ободьями 3, соединенными ложементами 4 с присоединенным к ним с внутренней стороны диском 5. Диск 5 охватывает по контуру камеру 6 и шину 7. На внутренней стороне ложементов 4 с помощью болтов 8 с гайками 9 и диска 5 закреплены грунтозацепы 10. Камера 6 разделена на секторы герметичными перегородками 11.

В плоскости симметрии диска 5 имеются радиальные отверстия 12 с закрепленными в них дросселирующими трубками 13, каждая из которых соединена с пневматическим демпфером 14, включающим за-

крепленный на диске 5 корпус 15, присоединенную к дросселирующей трубке 13 своим ближайшим к диску 5 неподвижным основанием 16 сильфонную камеру 17 и установленные на ее подвижном основании 18 наружные тарельчатые пружины 19 с расположенной внутри них цилиндрической пружиной сжатия 20, упирающиеся в нажимной диск 21, положение которого относительно корпуса 15 регулируется винтом 22.

В зависимости от микрорельефа опорной поверхности, пневматический демпфер 14 настраивают на определенное давление срабатывания за счет изменения усилия тарельчатых пружин 19 и цилиндрической пружины сжатия 20, величина которого регулируется винтом 22. Цилиндрическая пружина сжатия 20 создает дополнительную жесткость и одновременно стабилизирует положение тарельчатых пружин 19 относительно их оси симметрии.

Количество пневматических демпферов 14 равно числу секторов камеры 6.

Работает конструкция следующим образом. При наездах на препятствия и колебаниях транспортного средства часть воздуха из взаимодействующего с препятствием сектора камеры 6 через отверстие в дросселирующей трубке 13 поступает в сильфонную камеру 17, которая увеличивается в объеме. Усилие через подвижное основание 18 передается тарельчатым пружинам 19 и цилиндрической пружине сжатия 20, сжимая их.

Уменьшение объема воздуха во взаимодействующем с препятствием секторе камеры 6 приводит к увеличению пятна контакта пневматического колеса с опорной поверхностью и, следовательно, к повышению его демпфирующих свойств, т. е. способности гасить ударные воздействия неровностей микропрофиля опорной поверхности и, таким образом, уменьшать колебания неподдресоренных масс за счет повышенной деформации шины (уменьшаются вертикальные перемещения и ускорения колебаний оси колеса).

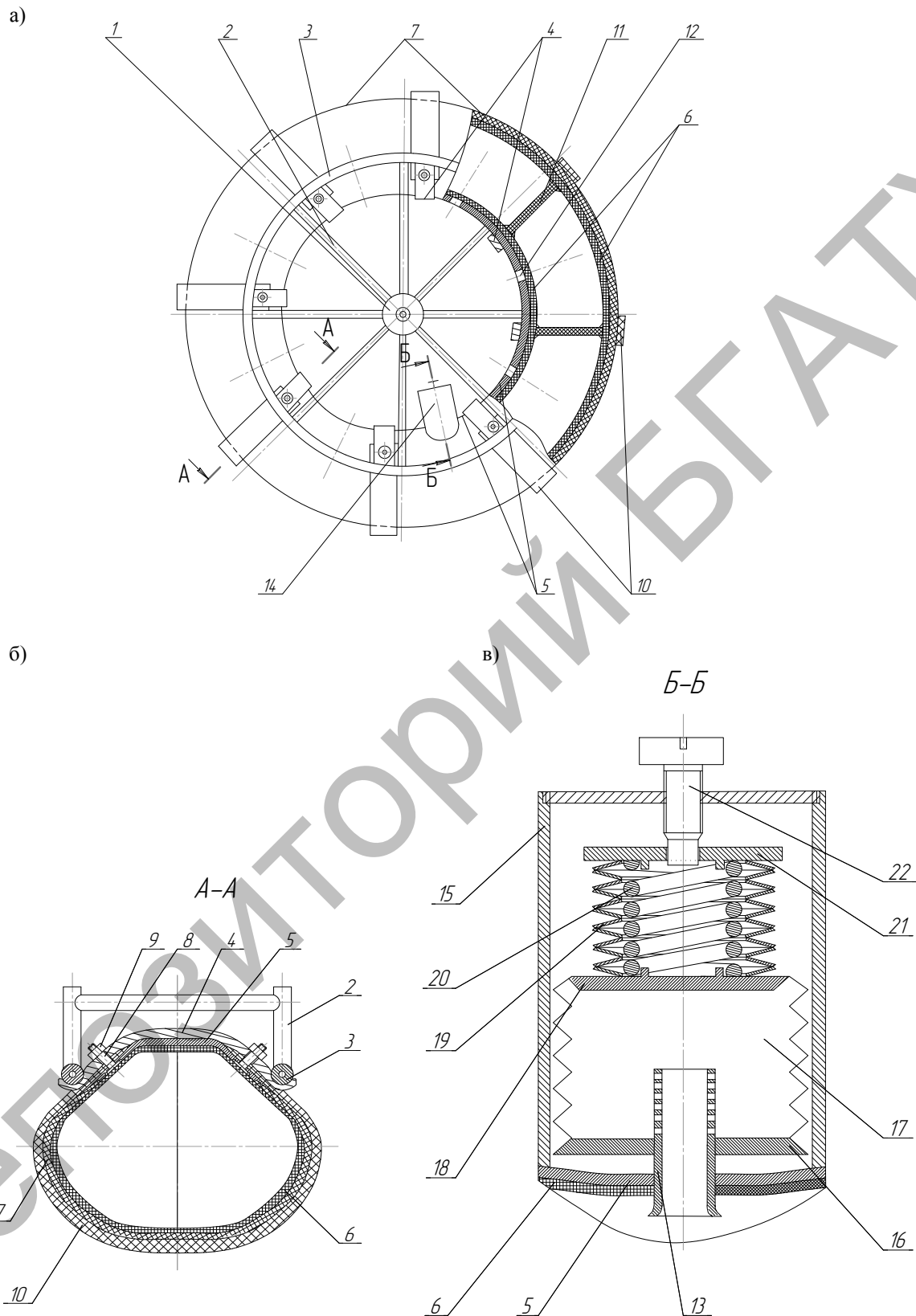


Рис. 2. Колесо низкого давления и повышенного демпфирования: а – общий вид колеса сбоку, выполненный с разрезом; б – разрез А-А; в – разрез Б-Б

После преодоления препятствия тарельчатые пружины 19 и цилиндрическая пружина сжатия 20 разжимаются, сильфонная камера 17 уменьшается в объеме и воздух через отверстие в дросселирующей трубке 13 поступает обратно в соответствующий сектор камеры 6.

Дросселирование воздуха создает необходимые энергетические потери, а включение в работу тарельчатых пружин 19 и цилиндрической пружины сжатия 20 ведет к снижению частоты собственных колебаний транспортного средства, а значит, и к уменьшению вибродинамических нагрузок на элементы ходовой части, что ведет к снижению уплотнения почвы.

Вывод

Использование колеса низкого давления и повышенного демпфирования позволит повысить плавность хода, снизить частоту собственных колебаний, уменьшить вибродинамические нагрузки на элементы ходовой части, увеличить проходимость транспортного средства за счет увеличения пятна контакта колеса с опорной поверхностью, снизить уплотнение почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кушнарев, А. С.** Механико-технологические основы обработки почвы / А. С. Кушнарев, В. И. Кочев – Киев : Урожай, 1989. – 144 с.
2. **Бахтеев, Р. Х.** Влияние колебаний колёс-

ного трактора на величину давлений шины на почву : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Равиль Хамзинович Бахтеев. – М., 1985. – 167 с.

3. **Чигарев, Ю. В.** Агротехническая повреждаемость почв при ударных нагрузках от эксплуатируемых сельскохозяйственных машин и орудий / Ю. В. Чигарев, Н. Н. Романюк // Вестн. акад. аграр. наук РБ. – 1997. – № 3. – С. 68–70.

4. **Czigarew, Y.** Dynamiczne oddziaływanie kola na glebę o właściwościach sprężysto-lepkich / Y. Czigarew, M. Romaniuk, R. Nowowiejski // Teoretyczne i aplikacyjne problemy inżynierii rolniczej w aspekcie przystosowania do programów badawczych w UE : VII międzynarodowa konferencja naukowa, Polanica Zdrój, 11–14 czerwca 2002 r. – Polanica Zdrój, 2002. – P. 85–88.

5. **Chigarev, Ju. V.** Obliczanie ugniatania gleby podczas obciążania agregatami maszynowymi / Ju. V. Chigarev, I. N. Shilo, N. N. Romanjuk // Problemy intensyfikacji produkcji zwierzecej z uwzględnieniem ochrony środowiska i standardów UE : materiały na konferencje, Warszawa, 25–26 września 2007 r. – Warszawa, 2007. – P. 303–310.

6. **Пат. 3685 РБ, МПК В 60В 15/00.** Колесо низкого давления и повышенного демпфирования / Ю. В. Чигарев [и др.] ; заявитель и патентообладатель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № u 20060860 ; заявл. 22.12.06 ; опубл. 30.06.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 3. – С. 189.

7. **Пат. 3687 РБ, МПК В 60В 15/00, В 60 С 11/00.** Колесо низкого давления и повышенного демпфирования / Ю. В. Чигарев [и др.] ; заявитель и патентообладатель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № u20060864 ; заявл. 22.12.06 ; опубл. 30.06.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 3. – С. 189.

Белорусский государственный аграрный технический университет
Материал поступил 09.11.2007

**I. N. Shilo, Y. V. Chigarev,
N. N. Romaniuk, A. L. Volski**
**The reduction of soil compression by dampening
characteristics of pneumatic-wheeled propellers
operating**
Belarusian State Agrarian and Technical University

The questions concerning soil compression by means of operation load are covered in the paper. It's shown that load amount depends on the equivalent vibrative system parameters and supporting surface relief. To reduce soil compression the use of low-pressured wheel and high dampening is recommended.