

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2019, №5, Том 11 / 2019, No 5, Vol 11 <https://esj.today/issue-5-2019.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/84ECVN519.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Рябов И.М., Поздеев А.В., Соколов А.Ю. Оценка экономической эффективности модернизации бесподвесочных машин применением шин с внутренней пневматической демпфирующей системой // Вестник Евразийской науки, 2019 №5, <https://esj.today/PDF/84ECVN519.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Ryabov I.M., Pozdeev A.V., Sokolov A.Yu. (2019). Evaluation of economic efficiency of suspensionless vehicles' modernization by using tires with internal pneumatic damping system. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 5(11). Available at: <https://esj.today/PDF/84ECVN519.pdf> (in Russian)

УДК 656.13.072:338

**Рябов Игорь Михайлович**

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Россия  
Профессор  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: [rjabov1603@mail.ru](mailto:rjabov1603@mail.ru)  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=425314](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=425314)

**Поздеев Алексей Владимирович**

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Россия  
Доцент  
Кандидат технических наук  
E-mail: [pozdeev.vstu@mail.ru](mailto:pozdeev.vstu@mail.ru)  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=624373](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=624373)

**Соколов Александр Юрьевич**

ФГКОУ ВО «Волгоградская академия МВД РФ», Волгоград, Россия  
Старший преподаватель  
Кандидат технических наук  
E-mail: [sokolov.a82@yandex.ru](mailto:sokolov.a82@yandex.ru)  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=760689](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=760689)

## Оценка экономической эффективности модернизации бесподвесочных машин применением шин с внутренней пневматической демпфирующей системой

**Аннотация.** Авторами в статье представлены результаты стендовых испытаний пневматической шины на динамическом стенде в виде амплитудно-частотных характеристик колебаний при разном давлении воздуха в шине. Представлено запатентованное колесо с внутренней пневматической демпфирующей системой, позволяющее повысить виброзащитные свойства бесподвесочных машин. Проведенные авторами теоретические и экспериментальные исследования показывают, что установка внутренней пневматической демпфирующей системы в шине трактора «Беларусь» уменьшает амплитуду резонансных колебаний в 3,25 раза, а в шине трактора «Кировец» – в 6 раз. Поэтому оценка экономической эффективности модернизации бесподвесочных машин путем применения шин с внутренней пневматической демпфирующей системой представляет большой интерес. В статье представлена методика расчета годового экономического эффекта от внедрения новых колес с повышенными виброзащитными свойствами. Рассмотрен пример расчета экономического эффекта за срок службы, исчисленный

на один автомобиль и на парк из 15 автосамосвалов БелАЗ карьера средней производительности, в которых применены новые технические решения, обеспечивающие повышение эффективности демпфирования колебаний наземного транспортного средства. В процессе расчета авторами определены такие показатели как годовая производительность, приведенные затраты на одну единицу техники, коэффициент технической эквивалентности, коэффициент амортизации на полное восстановление, коэффициент, учитывающий изменение долговечности. Новый автомобиль обладает лучшей плавностью хода, уменьшено время простоя автомобиля и затраты на его техническое обслуживание в связи с снижением его вибронегруженности. В результате изменяются и соответствующие экономические показатели у новой машины по сравнению с базовой единицей.

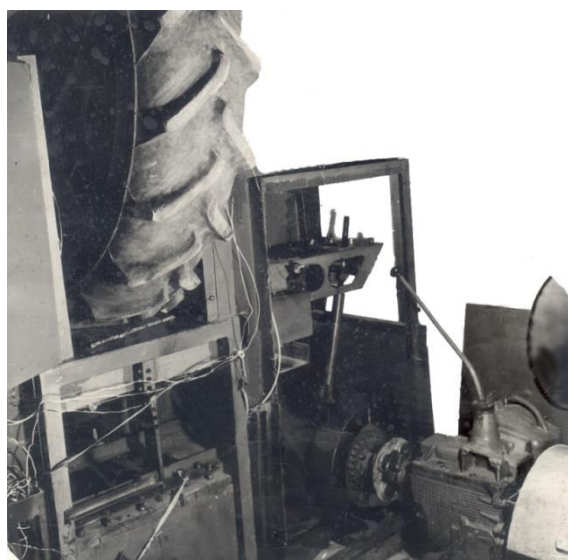
**Ключевые слова:** колесная бесподвесочная машина; пневматическая шина; виброзащитные свойства; внутренняя пневматическая демпфирующая система; производительность; затраты; экономический эффект

Модернизация технических средств, основанная на использовании научно-технических достижений, является первоочередной задачей для повышения эффективности работы и конкурентоспособности предприятий и развития экономики стран. Однако, прежде чем принять решение о необходимости ее внедрения очень важно проанализировать и оценить ожидаемую эффективность по известным методикам [1–4].

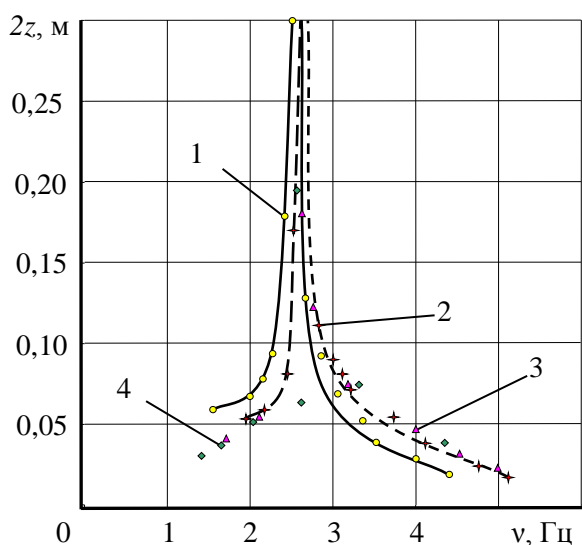
В настоящее время производится и эксплуатируется большое количество колесных бесподвесочных машин (КБМ): тракторов, комбайнов и других сельскохозяйственных, строительно-дорожных и специальных колесных машин, у которых защиту остова от вибрации, возникающей в результате взаимодействия колес с неровностями дороги, осуществляют только пневматические шины. Опыт эксплуатации КБМ показывает, что при выполнении работы, особенно транспортной, они имеют недостаточную плавность хода и не обеспечивают соблюдение норм вибронегруженности оператора даже при движении по усовершенствованным дорогам [5].

Для оценки виброзащитных свойств пневматической шины авторами были проведены стендовые испытания шины трактора «Беларусь» на динамическом стенде (рис. 1а) и определены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) колебаний (рис. 1б) при разном давлении воздуха в шине [6]. Анализ полученных графиков позволяет сделать вывод о том (рис. 1, кривая 1), что невращающаяся шина имеет очень низкие виброзащитные свойства, поскольку амплитуда колебаний массы на шине в области резонанса увеличивается по сравнению с амплитудой кинематического возмущения более чем в 10 раз, причем колебания происходят с отрывами от опорной площадки стенда. Относительный коэффициент затухания, которым оценивается поглощающая способность шин, для невращающейся шины весьма мал и находится в пределах  $\psi = 0,03 \dots 0,05$ .

Для вращающейся шины с увеличением скоростей движения машины до эксплуатационных (10–30 км/ч) относительный коэффициент затухания уменьшается в 3...5 раз вследствие уменьшения влияния гистерезиса в материале шины на гашение вертикальных колебаний остова машины. Требуемый по плавности хода оптимальный относительный коэффициент затухания должен быть  $\psi = 0,15 \dots 0,25$ . Таким образом, для повышения плавности хода и скорости движения КБМ необходимо повысить поглощающие свойства шин в 15 раз без увеличения коэффициента сопротивления качению.



а



б

**Рисунок 1.** Вид шины трактора «Беларусь» на динамическом стенде (а) и амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) колебаний груза массой 700 кг на шине при различном начальном давлении  $p_0$  (б) и амплитуде гармонического кинематического возмущения  $z = 0,025$  м: 1 –  $p_0 = 0,1$  МПа; 2 –  $p_0 = 0,15$  МПа; 3 –  $p_0 = 0,20$  МПа; 4 –  $p_0 = 0,26$  МПа

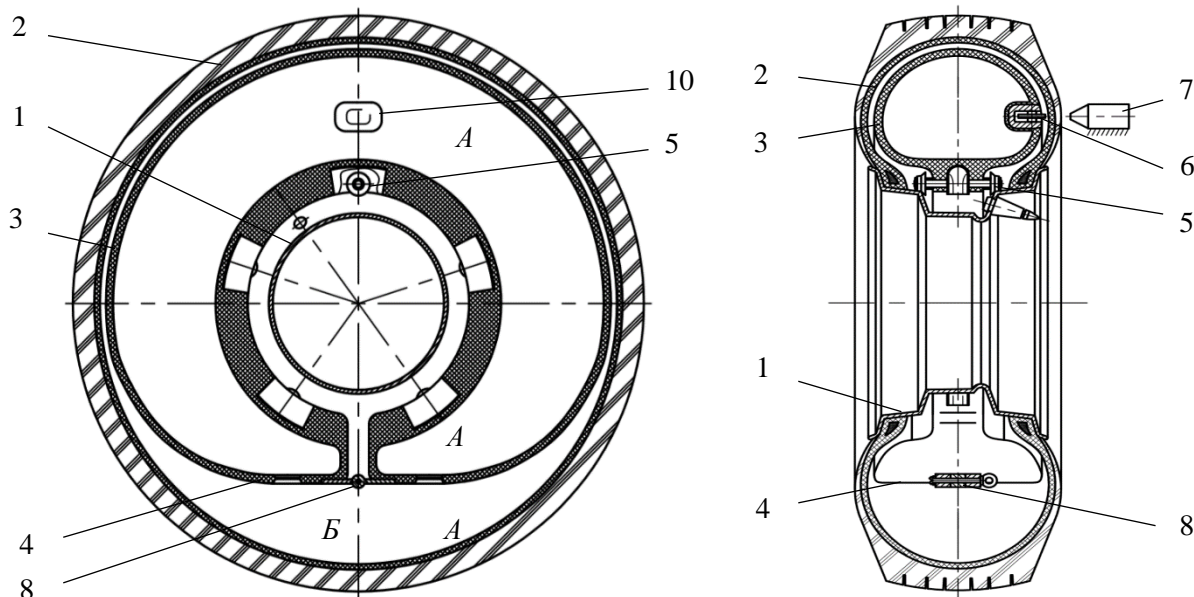
Вследствие низких виброзащитных свойств шин, которые обусловлены их слабым гашением резонансных колебаний кузова оператора для уменьшения действующей на него вибрации, а также для обеспечения безопасности движения вынужден снижать скорость движения машины, что ухудшает топливную экономичность, уменьшает производительность и эффективность ее использования. Кроме того, колебания сельскохозяйственных машин, работающих на полях, увеличивают давление шин на почву, что снижает урожайность. При длительном воздействии вибрации на операторов машин, у них часто возникают профессиональные заболевания, что снижает престижность их профессии. Из-за малой скорости КБМ создают заторы на дорогах, что приводит к повышению аварийности, снижению пропускной способности дорог и уменьшению эффективности функционирования автомобильного транспорта в стране. С ростом числа КБМ проблема усугубляется.

Для решения данной проблемы авторами были разработаны колеса с внутренней пневматической демпфирующей системой (ВПДС): Пат. РФ 2108240, 2144862, 2178742, 2178742, 2544065 и П. м. 179290, 179291, 179292. Были также проведены их исследования [8–11].

Колесо транспортного средства ВПДС по Пат. 2544065 РФ, МПК В60С17/01, В60С17/00. / И.М. Рябов, А.В. Поздеев, А.Ю. Соколов; ВолгГТУ. – 2015, представлено на рис. 2.

ВПДС (рис. 2) – это установленная между ободом 1 и бескамерной шиной 2 с возможностью осевого вращения эластичная оболочка 3 с усеченной нижней частью 4. Полость оболочки А сообщается с полостью шины В через клапаны и дросселирующие отверстия установленные на нижней ее части 4. Для снижения трения между ободом и оболочкой на последней установлены ролики 5. Центр масс оболочки расположен ниже оси вращения колеса, что обеспечивает ее положение в колесе усеченной частью 4 вниз. Для удержания оболочки от поворота относительно корпуса машины при разгоне и торможении машины на ней установлен, по крайней мере, один металлический элемент, выполненный в виде ролика 6, который взаимодействует с магнитом 7, установленным на транспортном средстве. Оболочки содержит

разъем 8, который дает возможность использования ВПДС на колесах с неразъемными ободьями и упрощает монтаж оболочки в колесе.



*A – полость оболочки; Б – полость шины; 1 – обод; 2 – шина; 3 – эластичная оболочка; 4 – усеченная часть оболочки с клапанным блоком; 5 – ролики; 6 – металлический элемент (ролик); 7 – магнит, установленный на транспортном средстве; полость гасителя крутильных колебаний оболочки; 8 – замок*

**Рисунок 2.** Модернизированное колесо транспортного средства с ВПДС

Проведенные авторами теоретические и экспериментальные исследования показали, что установка ВПДС в шине трактора «Беларусь» уменьшает амплитуду резонансных колебаний в 3,25 раза, а в шине трактора «Кировец» – в 6 раз. Поэтому оценка экономической эффективности модернизации бесподвесочных машин путем применения шин с внутренней пневматической демпфирующей системой представляет большой интерес.

Решение о целесообразности создания и внедрения новой техники, в том числе и изобретений, принимается на основе расчёта, определяемого на годовой объём модернизации техники в расчетном году [2–4]. За расчётный год для модернизированной автотранспортной техники можно принять первый год её использования.

Годовой экономический эффект определяется сравнением приведённых затрат у не модернизированных и модернизированных объектов техники аналогичного назначения. За базу сравнения, как правило, принимаются показатели образцов лучшей отечественной и зарубежной техники.

Для модернизированных машин долговременного применения экономический эффект за срок службы, исчисленный на годовой их выпуск, определяется по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = (Z_1 \alpha + \mathcal{E}_{изд} - Z_2) A_2, \quad (1)$$

где  $Z_1$  и  $Z_2$  – приведённые затраты в сфере производства, соответственно базовой и модернизированной машины;  $\mathcal{E}_{изд}$  – экономия потребителя на текущих издержках эксплуатации за весь срок службы новой машины по сравнению с базовой;  $A_2$  – годовой объём производства модернизированных машин в расчетном гоу;  $\alpha$  – коэффициент технической эквивалентности.

Приведённые затраты определяют по формуле:

$$Z_i = C_i + E_n K_i, \quad (2)$$

где  $C_i$  – себестоимость;  $K_i$  – удельные капитальные вложения в производственные фонды;  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Модернизированная машина характеризуется более высокими эксплуатационными качествами, что для сопоставимости сравниваемых объектов техники учитывается коэффициентом технической эквивалентности:

$$\alpha = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 = \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n} \cdot \alpha_3 \quad (3)$$

Коэффициент  $\alpha_1 = B_2/B_1$  учитывает рост производительности, коэффициент  $\alpha_2 = (P_1 + E_n)/(P_2 + E_n)$  – рост надёжности и долговечности новых конструкций,  $\alpha_3$  – коэффициент перспективности модели, учитывающий рост потребительского эффекта в виде улучшения плавности хода, скорости движения и производительности.

Годовая производительность определяется объёмом транспортной работы, выполняемой машиной в типичных условиях эксплуатации, и рассчитывается по формуле:

$$B_i = \frac{G_{zp} \gamma \beta v_m T D_p \alpha}{l + \beta v_m t_{np}} \quad (4)$$

где  $G_{zp}$  – номинальная грузоподъёмность, т;  $\gamma$  – коэффициент использования грузоподъёмности;  $\beta$  – коэффициент использования пробега;  $v_m$  – техническая скорость, км/ч;  $T$  – время работы в сутки, ч;  $D_p$  – количество дней работы в году;  $\alpha$  – коэффициент использования автомобиля за год;  $l$  – средняя длина ездки с грузом, км;  $t_{np}$  – простоя под погрузкой и выгрузкой за одну ездку, ч.

Долговечность автомобиля измеряется пробегом за срок службы и составляет не менее 180 % от нормы пробега до капитального ремонта. Зная годовой пробег автомобиля  $L_z$ , его пробег до капитального ремонта  $L_p$ , можно рассчитать коэффициент амортизации на полное восстановление (реновацию) базовой и модернизированной машины по формуле:

$$P_i = L_{zi} / 1,8 L_{pi} \quad (5)$$

где  $L_{zi} = D_p \alpha v_s T$ ,  $v_s$  – эксплуатационная скорость.

Рассмотрим пример расчёта экономического эффекта за срок службы, исчисленный на один автомобиль и на парк из 15 автосамосвалов БелАЗ. Предположим, что автосамосвалы установили модернизированные колеса, в которых применены новые технические решения, обеспечивающие повышение эффективности демпфирования колебаний автомобиля. Вследствие модернизации автомобиль обладает лучшей плавностью хода, что уменьшает его виброн нагруженность и время простоя автомобиля в ремонте, а также затраты на техническое обслуживание в связи с повышением его надёжности. В результате этого изменятся и соответствующие экономические показатели у модернизированной машины по сравнению с базовой (табл. 1). Подставим численные значения (здесь и далее цифры условные) экономических показателей в приведённые выше формулы.

Годовая производительность

$$B_1 = 75 \cdot 0,9 \cdot 0,66 \cdot 30 \cdot 365 \cdot 0,68 / (10 + 0,66 \cdot 30 \cdot 0,1) = 27689 \text{ ткм},$$
$$B_2 = 75 \cdot 0,9 \cdot 0,66 \cdot 32 \cdot 365 \cdot 0,7 / (10 + 0,66 \cdot 30 \cdot 0,1) = 30404 \text{ ткм}.$$

Коэффициент производительности

$$\alpha_1 = 30404/27689 = 1,098$$

Годовой пробег

$$L_{2,1} = 365 \cdot 0,68 \cdot 20 \cdot 10 = 49640 \text{ км},$$

$$L_{2,2} = 365 \cdot 0,7 \cdot 22 \cdot 10 = 56210 \text{ км}.$$

Коэффициент амортизации на реновацию

$$P_1 = 49640/(1,8 \cdot 9500) = 0,29,$$

$$P_2 = 56210/(1,8 \cdot 150000) = 0,21.$$

Коэффициент, учитывающий изменение долговечности

$$\alpha_2 = (0,29 + 0,15)/(0,21 + 0,15) = 1,222.$$

Коэффициент технической эквивалентности

$$\alpha = 1,098 \cdot 1,222 \cdot 1,1 = 1,476.$$

Приведённые затраты на один автомобиль

$$Z_i = C_i + E_n K_i; Z_1 = 16000 + 0,15 \cdot 12000 = 11800 \text{ у.е.},$$

$$Z_2 = 10100 + 0,15 \cdot 12500 = 11975 \text{ у.е.}$$

Экономический эффект машины с новыми колесами за срок её службы

$$\mathcal{E} = (594000 \cdot 1,476 + 16800 - 359250) = 534294 \text{ руб.}$$

Показателей базовой и новой моделей автомобилей сведём в таблицу.

**Таблица**

**Показатели базовой и новой моделей автосамосвалов БелАЗ**

Показатель	Обозначение	Единицы измерения	Значение показателя	
			базовая модель	новая модель
1	2	3	4	5
Грузоподъёмность	$G_{гр}$	$t$	75	75
Коэффициент использования грузоподъёмности	$\gamma$	–	0,9	0,9
Коэффициент использования пробега	$\beta$	–	0,66	0,66
Техническая скорость	$v_T$	км/ч	30	32
Эксплуатационная скорость	$v_э$	км/ч	20	22
Количество дней работы в году	$D_p$	–	365	365
Коэффициент использования автомобиля за год	$\alpha$	–	0,68	0,7
Средняя длина ездки с грузом	$l$	км	10	10
Время простоя под погрузкой и выгрузкой	$t_{пр}$	ч	0,1	0,1
Пробег до капремонта	$L_p$	км	95000	150000
Коэффициент перспективности	$\alpha_3$	–	1	1,1
Себестоимость	$C$	руб.	300000	303000
Нормативный коэффициент капитальных вложений	$E_n$	–	0,15	0,15
Удельные капитальные вложения в производственные фонды	$K$	руб.	360000	375000
Экономия потребителя на издержках эксплуатации за весь срок службы нового объекта по сравнению с базовым	$\mathcal{E}_{изд}$	руб.	16800	16800

Экономический эффект, исчисленный на парк из 15 автосамосвалов, эксплуатируемых в карьерах

$$\text{Э} = (594000 \cdot 1,476 + 16800 - 359250) \cdot 15 = 8014410 \text{ руб.}$$

### Заключение

1. Для принятия решения о необходимости ее внедрения модернизированных колес на различные машины очень важно оценить ожидаемую экономическую эффективность по известным методикам.
2. Проведенные авторами исследования показали, что пневматические шины колесных бесподвесочных машин (КБМ): тракторов, комбайнов и других сельскохозяйственных, строительно-дорожных и специальных колесных машин, имеют очень низкие виброзащитные свойства, что снижает скорость их движения, надежность и производительность.
3. Авторами разработаны и испытаны модернизированные колеса для КБМ с внутренней пневматической демпфирующей, повышающие демпфирующие свойства шин в несколько раз, что позволяет улучшить эксплуатационные свойства машин.
4. Проведенная по известной методике оценка экономической эффективности КБМ внедрения модернизированных колес в парке, состоящем из 15 большегрузных машин, показала, что такое внедрение дает существенный годовой экономический эффект 8 014 410 руб.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Antonyan O., Karpushko E., Solovyeva A. Problems of modernization and technical re-equipment of Russian machine-building enterprises // MATEC Web of Conferences. – 2017. – № 129. – С. 89–94.
2. Сальникова Ю.К. Экономическая эффективность модернизации производственного оборудования на предприятии // Проблемы экономики и менеджмента. – 2016. – № 7. – С. 44–49.
3. Луценко А.В., Федоров В.К. Теория и методика инновационных процессов. – М.: Академия естествознания, 2016. – 228 с.
4. Яллай В.А. Экономическая эффективность внедрения новой техники и технологии на предприятии // Новая наука: от идеи к результату. – 2016. – № 2. – С. 196–198.
5. Результаты исследований виброзащитных свойств шины с внутренней пневматической демпфирующей системой / И.М. Рябов, А.В. Поздеев, К.В. Чернышов, Д.В. Гудков, М.М. Гасанов, М.М. Муртузов // Шина Плюс (Украина). – 2015. – № 3. – С. 8–10.
6. Рябов И.М. Математическая модель колеса с пневматической демпфирующей системой для бесподвесочных машин / И.М. Рябов, К.В. Чернышов, А.Ю. Соколов // Изв. ВолгГТУ. Серия «Наземные транспортные системы»: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – Вып. 2 №8. – С. 51–53.

7. Рябов И.М. Колесо с внутренней пневматической демпфирующей системой и исследование его динамического гасителя / И.М. Рябов, А.В. Поздеев, А.Ю. Соколов, Н.Н. Малинин // Изв. ВолгГТУ. Серия "Наземные транспортные системы". Вып. 8: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – № 3 (130). – С. 37–41.
8. Рябов И.М. Математическая модель динамического гасителя крутильных колебаний внутренней оболочки колеса с воздушным демпфированием / И.М. Рябов, К.В. Чернышов, А.Ю. Соколов, Н.Н. Малинин // сборник «Россия периода реформ»: Материалы XIII международной отраслевой научно-практической конференции (20–22 мая) Волгоград 2009. – С. 203–208.
9. Рябов И.М. Обоснование направлений и уровней улучшения свойств колеса с пневматической шиной для повышения плавности хода бесподвесочных машин / И.М. Рябов, А.В. Поздеев, В.Д. Гудков, А.Ю. Соколов, Н.Н. Малинин // Шина плюс: всеукраинский журнал. – 2013. – №4. С. 8–10.
10. Рябов И.М. Устройство и работа колеса с воздушным демпфированием вертикальных колебаний кузова бесподвесочных машин / И.М. Рябов, А.В. Поздеев, В.Д. Гудков, А.Ю. Соколов, Н.Н. Малинин // Шина плюс: всеукраинский журнал. – 2014. – №1. С. 8–10.
11. Рябов И.М. Результаты исследований виброзащитных свойств шины с внутренней пневматической демпфирующей системой / И.М. Рябов, А.В. Поздеев, К.В. Чернышов, Д.В. Гудков, М.М. Гасанов, М.М. Муртузов // Шина плюс: всеукраинский журнал. – 2015. – № 3. С. 8–10.
12. Рябов И.М. Эффективная площадь пневматической шины и методика определения закона ее изменения при вертикальной деформации / И.М. Рябов, А.В. Поздеев, А.Ю. Соколов, Н.Н. Малинин // Грузовик. – М.: Машиностроение, 2014. – № 4. С. 13–18.
13. Особенности формирования нагрузочной характеристики шины / И.М. Рябов, А.В. Поздеев, М.М. Муртузов, Ш.М. Мухучев, Ю.М. Мухидинов // Актуальные вопросы развития транспортной системы: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. (г. Махачкала, 14–15 мая 2016 г.) / ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный гос. техн. ун-т (МАДИ)», Махачкалинский филиал, ФГБОУ ВПО «Дагестанский гос. аграрный ун-т им. М.М. Джамбулатова». – Махачкала, 2016. – С. 38–43.
14. Соколов А.Ю. Повышение виброзащитных свойств шин за счет внутренней пневматической демпфирующей системы / дисс. канд. техн. наук. Волгоград, 2014. – 149 с.



**Ryabov Igor Mikhaylovich**

Volgograd state technical university, Volgograd, Russia  
E-mail: rjabov1603@mail.ru

**Pozdeev Aleksey Vladimirovich**

Volgograd state technical university, Volgograd, Russia  
E-mail: pozdeev.vstu@mail.ru

**Sokolov Aleksandr Yurievich**

Volgograd academy of the ministry of internal affairs of the Russian Federation, Volgograd, Russia  
E-mail: sokolov.a82@yandex.ru

## **Evaluation of economic efficiency of suspensionless vehicles' modernization by using tires with internal pneumatic damping system**

**Abstract.** The authors present the results of bench tests of a pneumatic tire on a dynamic bench in the form of amplitude-frequency characteristics of oscillations at different air pressures in the tire. A patented wheel with an internal pneumatic damping system is presented, which makes it possible to increase the vibroprotective properties of suspensionless vehicles. Theoretical and experimental studies conducted by the authors show that installing an internal pneumatic damping system in the tire of the Belarus tractor reduces the amplitude of resonant vibrations by 3.25 times, and in the tire of the Kirovets tractor by 6 times. Therefore, the evaluation of the economic efficiency of modernization of suspensionless vehicles by using tires with an internal pneumatic damping system is of great interest. The article presents a methodology for calculating the annual economic effect of the introduction of new wheels with enhanced vibration protection properties. An example of calculating the economic effect over a lifetime calculated for one car and for a fleet of 15 BelAZ dump trucks of an average productivity quarry is considered, in which new technical solutions are used to increase the efficiency of vibration damping of a ground vehicle. In the calculation process, the authors determined such indicators as annual productivity, reduced costs per unit of equipment, coefficient of technical equivalence, depreciation coefficient for full recovery, coefficient taking into account the change in durability. The new car has a better ride, reduced downtime of the car and the cost of its maintenance due to a decrease in its vibration load. As a result, the corresponding economic indicators of the new vehicle also change in comparison with the base unit.

**Keywords:** wheel suspensionless machine; pneumatic tire; vibroprotective properties; internal pneumatic damping system; productivity; costs; economic effect