

Мураткин С.Е.

преподаватель кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Татаринцев В. Ю.

ассистент кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Колядин П.А.

ассистент кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Артёмов А.В.

старший преподаватель кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Прядкин В.И.

доктор техн. наук, профессор кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Muratkin S.E.

lecturer at the Department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Tatarintsev V. Yu.

assistant of the department of automobiles and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Kolyadin P.A.

assistant at the Department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Artyomov A.V.

senior lecturer of the Department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Pryadkin V.I.

Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

ОЦЕНКА ВИБРОНАГРУЖЕННОСТИ ОСТОВА МИНИ-ТРАКТОРА УРАЛЕЦ-254

EVALUATION OF VIBRATION LOAD ON THE SKELETON OF THE URALETS-254 MINI TRACTOR

Аннотация. В статье описано влияние колебаний мини-трактора на его эксплуатационные свойства, приведены пути повышения плавности хода мини-тракторов и описан их тяговый класс. Были проведены эксперименты на снятие упругих характеристик шин Бел-186 и 6.50-16 R-1. В ходе лабораторно-дорожных испытаний на плавность хода мини-трактора Уралец-254 были получены результаты виброускорений над осью задних колёс при проезде через искусственные неровности высотой 70 мм. Относительное отклонение результатов, полученных теоретических и экспериментальных зависимостей не превышает 4-12 %.

Abstract. The article describes the effect of vibrations of a mini-tractor on its operational properties, provides ways to improve the smooth running of mini-tractors and describes their traction class. Experiments were conducted to remove the elastic characteristics of Bel-186 and 6.50-16 R-1 tires. During laboratory and road tests on the smoothness of the Uralets-254 mini tractor, the results of vibration acceleration over the rear wheel axle when passing through artificial bumps 70 mm high were obtained. The relative deviation of the results obtained from the theoretical and experimental dependences does not exceed 4-12%.

Ключевые слова: вибронегруженность, остоу, оценка, плавность хода, жёсткость шин, мини-трактор, Уралец-254, упругие свойства, давление воздуха в шинах.

Keywords: vibration load, frame, evaluation, smooth running, tire stiffness, mini tractor, Uralets-254, elastic properties, tire air pressure.

Введение

Колебания мини-трактора влияют практически на все её основные эксплуатационные свойства (устойчивость, управляемость и плавность хода), а также на расход топлива. Движение мини-трактора в условиях резонансного режима колес может сопровождаться ослаблением вертикальной реакции дороги на них и даже их отрывом от дороги, что приводит к снижению устойчивости машины. Резонансные колебания кузова характеризуются значительными линейными и угловыми перемещениями самого кузова и полезной нагрузки машины (водитель, пассажиры, грузы и т.д.) Таким образом, проявляются неблагоприятные условия движения с точки зрения устойчивости и управляемости транспортного средства, а также плавности хода, определяющей уровень комфорта [1-3].

Поскольку известно, что шины влияют на демпфирование колебаний, то для улучшения плавности хода мобильного средства целесообразно использовать шины с возможно меньшей жесткостью. Поэтому для повышения плавности хода мини-трактора Уралец-254 применили шины сверхнизкого давления размерностью 900х500-16 модели ШАИНА-2 [4-10].

Расчетным путём, оценка плавности хода мини-трактора проводится при помощи математических моделей, однако для выполнения расчетов необходимо располагать экспериментальными данными параметров динамической системы, таких как жесткость шин и подвески, момент инерции колеса и остова автомобиля и других. Однако, в настоящее время исследованиям по определению жесткости шин сверхнизкого давления уделено недостаточно внимания.

В связи с этим актуальной задачей является определение особенностей движения мобильных средств по различным опорным поверхностям с применением шин сверхнизкого давления.

Степень разработанности темы ограничена известными методами оценки плавности хода транспортных средств, а также методиками определения упругих характеристик шин.

Объектом исследования в настоящей работе является серийно выпускаемый мини-трактор Уралец-254. Предметом исследования являются закономер-

ности изменения вибронагруженности сидения водителя от различных параметров шин.

Целью работы является повышение плавности хода мобильного средства путём применения шин сверхнизкого давления.

Минитракторы (рис. 1) обладают мощностью двигателя 15-50 л.с. и могут быть использованы для решения широкого спектра задач: 1) обработка земельного участка; 2) покос травы; 3) перевозка грузов; 4) посадка сельскохозяйственных культур; 5) уборка дорожного полотна от снега. Их возможности, часто зависят от тягового класса.



а



б



в



г

Рисунок 1 – Мини-трактора различного назначения

а – мини-трактор TZ03-254; б – мини-трактор СКАУТ-Т18;
в – мини-трактор КЕНТАВР Т-48; г – мини-трактор КЕНТАВР Т-24

Тяговый класс трактора – это параметр, который характеризует мощность трактора и определяет его способность к выполнению тяжелых работ. Этот параметр зависит от массы самого трактора и массы нагружаемого прицепа. Определение тягового класса производится путем сравнения отношения массы прицепа к массе трактора с определенными значениями. Понятие номинального тягового класса, рассчитанное по ГОСТ 27021-86, является исчерпывающей, подробной характеристикой, показывающей не только эффективность силового

агрегата, но и насколько эффективна конструкция самой машины при имеющейся эксплуатационной массе.

Пути повышения плавности хода мини-тракторов представлены на рисунке 2.

Конструктивные особенности подвески определяют плавность хода только при определённых внешних условиях и режимах работы мини-трактора, таких как скорость движения, состояние дороги и характер неровностей [10-15].

Помимо упругого элемента подвески, на плавность хода также влияют упругие свойства шины. Поэтому целесообразно устанавливать шины с меньшей жёсткостью.

Жёсткость шины зависит от её конструкции, ширины профиля и давления воздуха в ней.



Рисунок 2 – Пути повышения плавности хода мини-тракторов

Шины для мини-тракторов классифицируются по четырём основным параметрам: типу протектора, условиям эксплуатации, конструкции и оси, для которой они предназначены.

Колёса мини-тракторов испытывают значительные нагрузки, поэтому особое внимание уделяется их износостойкости и прочности. Качественные и правильно подобранные шины обеспечивают высокий уровень безопасности для участников дорожного движения, а также помогают снизить расход топлива и продлить срок службы элементов подвески.

Шины способны смягчать удары о неровности дороги благодаря своей конструкции. Они поглощают колебания при деформации и сглаживают толчки от небольших шероховатостей и выступов.

Поэтому неровности, длина которых меньше зоны контакта шины с дорогой, а высота меньше её статического прогиба, практически не влияют на колебания автомобиля.

Для мини-трактора были выбраны шины сверхнизкого давления. Они имеют увеличенный внутренний объём и предназначены для эксплуатации при давлении воздуха от 0,2 до 0,6 МПа.

В отличие от обычных шин, эти шины более мягкие, так как состоят из меньшего количества слоёв корда. Боковые поверхности у них не такие толстые. Благодаря своей эластичности и способности к амортизации, они обеспечивают плавное движение на неровной поверхности.

Глубокий рисунок и значительная ширина протектора обеспечивают надёжное сцепление с любой поверхностью. Увеличенный диаметр шин также способствует увеличению дорожного просвета трактора.

Ещё одним преимуществом таких шин является их меньшее разрушительное воздействие на окружающую среду.

Объектом исследований является мини-трактор Уралец-254, оборудованный базовыми шинами Бел-186 и 6.50-16 R-1, общий вид которого представлен на рисунке 3, а основные технические характеристики объекта исследований представлены в таблице 1.



Рисунок 3 – Общий вид объекта исследований

Полноприводный мини-трактор Уралец-254, отличается специфическими усовершенствованиями: усиленная рама, модернизированная система холодного запуска, улучшенная защита электрооборудования. Мини-трактор оснащен

3-х цилиндровым дизельным двигателем КМ-385ВТ. Большие мощность и тяговое усилие на крюке позволяют использовать с мини-трактором различные навесные оборудования. Уралец-254 предназначен для обработки и культивации почвы, уборки, хранения и последующей переработки агрокультур, а также для коммунальных и строительных работ. Благодаря доступной агрегации с множеством дополнительных приспособлений, он становится незаменимым помощником и пользуется большим спросом в аграрном секторе, фермерских хозяйствах, коммунальной сфере и строительстве.

Во время выполнения сельскохозяйственных работ и операций в ранний весенний период рекомендуется применять шины низкого и сверхнизкого давления [31-33].

Таблица 1 – Основные технические характеристики объекта исследований

Показатель	Значение
Двигатель	
Тип двигателя	Дизельный
Мощность (л.с/ об. мин)	25/2350
Крутящий момент (Нм / об.мин)	82,3/1762
Удельный расход топлива (г/кВт час)	248
Трансмиссия	
Колесная формула / ведущие колеса	4К4
Коробка передач	Механическая
Число передач	8
Вал отбора мощности	Зависимый, двухскоростной
Частота вращения ВОМ (об/мин)	540/1000
Рулевое управление	
Тип РУ	Гидрообъемный
Производительность насоса ГУР	6 л/мин
Марка исполнительного ГЦ	T-40M1-3429010
Габаритные размеры	
Длина	2850 мм
Ширина	1380 мм
Высота (с кабиной/ без кабины)	2320/1950 мм
Колея передних/задних колес	1060-1160/1080-1380 мм
База	1650 мм
Снаряженная масса (с кабиной/ без кабины)	1340/1550 кг
Заднее навесное устройство	
Тип	Трёхточечное с ГУ НУ-1Н
Грузоподъемность рычагов	400
Эксплуатационные характеристики	
Грузоподъемность	750 кг
Диапазон рабочих скоростей	5-30 км/ч
Размер шин (передних/задних)	6.50-16 R-1/11.2 R-24Бел-186
Максимальное тяговое усилие	5,0 кН

Данная техника перед испытаниями имела пробег обкатки менее 1000 км и шины без повреждений с минимальным износом рисунка протектора шин [30-36].

Технические характеристики шин представлены в таблице 2.



Рисунок 4 – Испытания шин на тангенциальную деформацию
а – Шина Бел-186; б – Шина 6.50-16 R-1

Таблица 2 – Технические характеристики шин

№ п/п	Наименование	Размерность	Шина	
			Бел-186	6.50-16 R-1
1	Исполнение	-	ТТ, TL	ТТ, TL
2	Тип рисунка	-	повышенной проходимости	повышенной проходимости
3	Обод (рекомендуемый)	-	W10	4,5E
4	Обод (допускаемый)	-	W9	4,5E
5	Наружный диаметр	мм	1095	760
6	Ширина профиля	мм	284	175
7	Статистический радиус	-	501	360
8	Индекс несущей способности	-	114	91
9	Максимальная нагрузка	кг	1180	615
11	Максимальная скорость	км/ч	40	30
11	Глубина рисунка протектора шины	мм	35	20
12	Давление в шине	кПа	160	310

В рамках экспериментальных исследований плавности хода мобильного средства мини-трактора Уралец-254 ключевым этапом стало проведение лабораторно-дорожных испытаний (рис. 5). Эти испытания осуществлялись на специально сконструированных искусственных неровностях, которые обеспечивали стабильность параметров и профиля неровностей, а также позволяли проводить сравнительные и повторные тестирования. Для этого выбирались неровности, характерные для типичных эксплуатационных условий, таких как грунтовые и проселочные дороги, пахота и стерня, а также глубокие канавы и рытвины.



Рисунок 5 – Мини-трактор Уралец-254 перед началом испытаний на плавность хода

Для моделирования эксплуатационных условий были использованы искусственные неровности, соответствующие следующим параметрам: высота 70 мм и ширина 650 мм. Выбор данных размеров обусловлен тем, что естественные неровности, с которыми мини-трактор сталкивается в процессе эксплуатации, имеют преимущественно плавные очертания. Профиль искусственных неровностей был принят в виде трапеции, что соответствует требованиям ГОСТ Р 52605-2006. Эти неровности также применялись для оценки объективности математической модели мини-трактора и сравнительного анализа вертикальных ускорений, испытываемых оператором на сидении при использовании базовой шины и шины сверхнизкого давления.

В процессе выполнения технологических операций мини-трактор сталкивается с различными препятствиями, включая единичные неровности с малой длиной основания и большой высотой. Параметры искусственных неровностей были выбраны с учетом реальных условий эксплуатации: высота неровностей на разбитых дорогах может достигать 0,2 м, а высота гребней вспаханного поля варьируется в пределах от 0,07 до 0,15 м. В связи с этим высота неровностей была установлена на уровне 70 мм.

Низкочастотные колебания мини-трактора, характерные для движения поперек направления уборки или вспаханного поля, требуют учета длины неровностей. На основании анализа эксплуатационных условий длина неровностей была принята равной 0,7 м. Искусственные неровности размещались на ровной горизонтальной дороге с твердым покрытием (рис. 6 и рис. 7).



Рисунок 6 – Установка и размещение искусственных неровностей высотой 70 мм перед передней осью мини-трактора



Рисунок 7 – Установка и размещение искусственных неровностей высотой 70 мм перед задней осью мини-трактора

Опыты проводились на различных скоростях движения, верхний предел скорости выбирался из условий безопасности движения. Испытания минитрактора проводили при порожнем состоянии.

Перед началом испытаний давление воздуха в шинах регулировалось с учетом оптимальной относительной деформации для шин мостового агрегата, что позволило обеспечить соблюдение разработанных ранее рекомендаций. В частности, при установке базовых шин Бел-186 и 6.50-16 R-1 были соблюдены следующие эксплуатационные параметры давления: 0,24 МПа, 0,20 МПа, 0,16 МПа, 0,12 МПа и 0,08 МПа. Для предлагаемой к установке шины сверхнизкого давления был определен диапазон давлений, включающий значения, обеспечивающие оптимальную работу системы при различных режимах эксплуатации.

Техническое обслуживание проводилось в строгом соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.002-2006. Были проведены проверки уровня масла в двигателе, коробке передач, ведущем мосте и баке гидравлической системы, что является критически важным для обеспечения надежности и долговечности оборудования.

Регистрация колебаний на сидении оператора осуществлялась с использованием анализатора вибрации АССИСТЕНТ (рис. 8) модификация SIU 30 V3RT, зав. № 01B012 в сочетании с вибропреобразователем AP 2038 (зав. № 0424). Перед началом измерений прибор был предварительно откалиброван, поверен, полностью заряжен и разогрет до рабочей температуры, что обеспечило точность и достоверность полученных данных.

Замеры колебаний проводились для двух условий движения при указанных рабочих скоростях на широкопрофильных шинах сверхнизкого давления. Диапазон рабочих скоростей включал следующие значения: 2L (3 км/ч), 4L (6 км/ч), 1H (9 км/ч), 2H (13 км/ч) и 3H (20 км/ч), что позволило провести всестороннюю оценку динамических характеристик системы.

Плавность хода оценивалась посредством анализа низкочастотных колебаний в диапазоне от 1,0 Гц до 16 Гц, хотя технические возможности аппаратуры позволяют проводить более широкий спектральный анализ виброускорений. Обработка полученных данных, зафиксированных приборами низкочастотных колебаний, осуществлялась с применением программного обеспечения Microsoft Excel [15-20].



Рисунок 8 – Анализатор вибрации АССИСТЕНТ (модификация SIU 30 V3RT)

Подготовка к испытаниям и реализация экспериментальных заездов включали следующие этапы:

- 1) Проверка давления в шинах и состояния элементов подвески;
- 2) Оценка распределения нагрузки, передаваемой через шины мини-трактора на дорожное покрытие в снаряженном состоянии и при частичной загрузке, состоящей из оператора и измерительной аппаратуры;
- 3) Прогрев агрегатов и шин путем пробега по асфальтобетонной дороге на эксплуатационных скоростях общей протяженностью не менее 10 км;
- 4) Проверка работоспособности системы сбора данных и датчиков перед каждым заездом на остановленном автомобиле, балансировка сигналов, контроль тарировки датчиков и надежности их крепления на рабочем месте оператора автоматизированной передвижной платформы (АПП);
- 5) Проведение тестовых заездов при движении мини-трактора в одном направлении по идентичной полосе движения для каждого типа шин и при наличии единичных неровностей на испытательном участке;
- 6) Начало регистрации сигнала оператором только после достижения заданной скорости мини-электротранспортным средством (МЭС) и завершение замеров до начала снижения скорости или съезда с испытательного участка.

Лабораторно-полевые испытания проводились в условиях отсутствия осадков и при стабильной температуре окружающей среды в диапазоне 10–15

°С. Эти параметры были выбраны для обеспечения нормального функционирования агрегатов подвески автомобиля и измерительной аппаратуры (рис.9), что позволило минимизировать влияние внешних факторов на точность результатов. Испытания были организованы в две серии, каждая из которых проводилась в максимально схожих условиях.



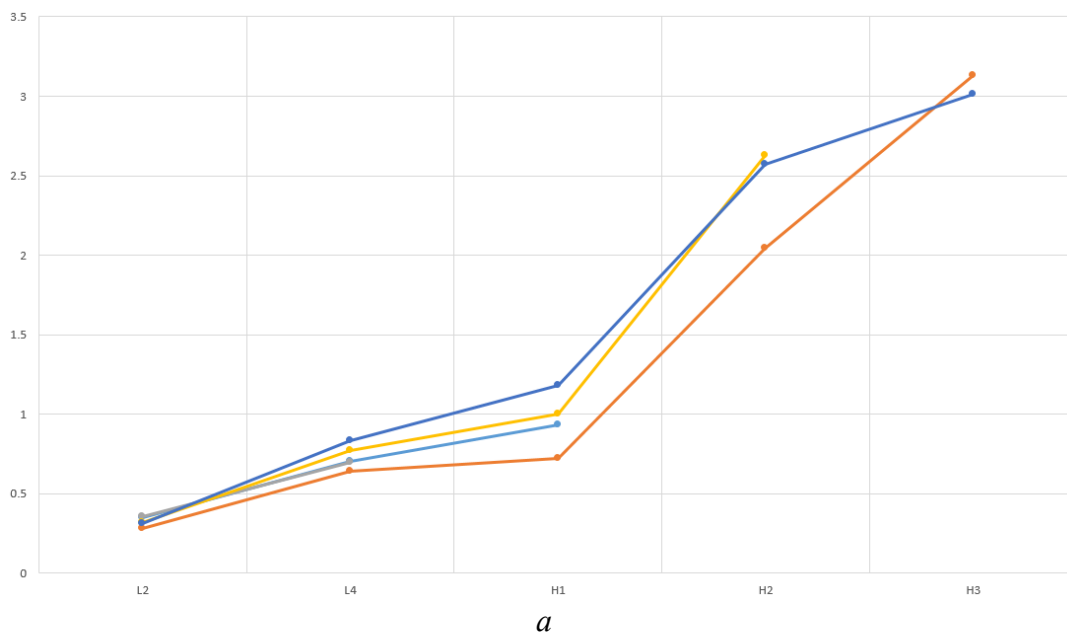
Рисунок 9 – Размещение установочного диска с интегрированным датчиком виброускорений на сиденье оператора

В рамках первой серии экспериментальных исследований был протестирован мини-трактор Уралец-254 с использованием базовых шин. Объектом испытаний являлись единичные неровности высотой 0,7 м. Вторая серия исследований включала аналогичные испытания того же мини-трактора, но с осуществлением замены стандартных шин на шины сверхнизкого давления.

Эти данные позволяют провести сравнительный анализ характеристик подвески при различных типах шин, что является важным аспектом для оптимизации эксплуатационных показателей сельскохозяйственной техники в условиях неровного рельефа.

При повышении скорости движения спектры ускорений становятся более пологими и имеют тенденцию к увеличению в сторону высоких частот (рис. 10). Установлено, что с увеличением скорости движения с 5 км/ч до 30 км/ч максимальные значения амплитуд колебаний возрастают в 3.1 раза. Расхождение расчетных значений среднеквадратических ускорений, представленных в математической модели и экспериментальных данных, полученных при лабораторно-дорожных испытаниях составляют всего лишь 4-12%. Уровень колеба-

ний на сиденье не превышает нормативных значений ГОСТ и границы комфортной езды (0,25g).



Передача	L2	L4	H1	H2	H3
Давление					
80кПа	0.35006	0.70303	0.93162		
120кПа	0.27925	0.64299	0.72209	2.04247	3.12833
160кПа	0.35465	0.69877			
200кПа	0.31594	0.7711	1.00315	2.62625	
240кПа	0.3141	0.83105	1.18317	2.57479	3.01371

б

Рисунок 10 – Расчетно-экспериментальные значения среднеквадратических ускорений над осью задних колёс мини-трактора

а – график зависимости; *б* – таблица данных

Выводы

1. Был произведен анализ объекта исследований и нововведений в производимой модернизации. Помимо этого, были даны характеристики объекта исследований и его заводских шин.

2. В ходе лабораторно-дорожных испытаний на плавность хода мини-трактора Уралец-254 были получены результаты виброускорений над осью задних колёс при проезде через искусственные неровности

3. Относительное отклонение результатов, полученных теоретических и экспериментальных зависимостей не превышает 4-12 %.

Список литературы

1. Мазур В.В. Повышение плавности хода автотранспортных средств внутренним подпрессориванием колес. Москва. 2004.С.18-22.
2. Руктешель О.С. Плавность хода автомобиля. Минск. БНТУ, 2021. С. 61.
3. Кручинин П.А. Исследование колебаний человека при спокойном стоянии. Москва: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2018.С.21-23.
4. Лукьянчук А.Д. Безопасность транспортных средств. Минск. БНТУ, 2012.С. 88-90.
5. Ряполов В.А., Чешуина Т.Г.Формообразование в конструкциях средств малой механизации// Теория и практика современной аграрной науки: сборник III национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием. Новосибирский государственный аграрный университет. 2020. С. 86-89.
6. Захаров Н.Е.Увеличение проходимости мотоблока с помощью комбинированного колеса//Научные труды студентов Ижевской ГСХА. Ижевск, 2020. С. 1309-1315.
7. Оболенский В.А., Маков П.В., Спицын А. В. К вопросу повышения плавности хода подвижного состава специального назначения// Инновационные технологии в электронике и приборостроении: сборник докладов Российской научно-технической конференции с международным участием. Москва, 2021. С. 283-286.
8. Максимов Е.А., Устиновский Е.П.Исследование радиальной жесткости и демпфирующих свойств шины трактора при ударных нагрузках// Вестник НГИЭИ. 2020. № 4 (107). С. 16-23.
9. Блажинский В.Р.Разработка и реализация метода определения зависимостей радиальной жесткости автомобильных шин// XXIV Региональная конференция молодых учёных и исследователей Волгоградской области. Сборник материалов конференции. 2020. С. 148.
10. Балакина Е.В., Кочетов М.В., Сарбаев Д.С.Проектный расчет боковой жесткости шины при наклоне плоскости вращения колеса// Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2023. Т. 10. № 3. С. 39-43.
11. Севрюгина Н.С., Савлук А.И., Манжула А.В. Способы повышения плавности хода автомобилей, эксплуатируемых в различных дорожных условиях. // Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2013. С. 231-235.
12. Годжаев З.А., Прядкин В.И., Артёмов А.В., Колядин П.А. Оценка влияния параметров шин на управляемость автомобиля // Автомобильная промышленность. 2022. № 6. С. 16-21.
13. Тарновский В.Н., Гудков В.А., Третьяков О.Б. // Автомобильные шины: Устройство, работа, эксплуатация, ремонт. Транспорт, 1990. 272 с.
14. Агейкин Я.С., Вольская Н.С. Моделирование движения автомобиля по мягким грунтам: проблемы и решения // Автомобильная промышленность. 2004. № 10. С. 24–25.
15. Liqiang Jin, Xianglong Peng, Jia Liu, Qixiang Zhang, Jianhua Li, Ligang Li. Robust algorithm of indirect tyre pressure monitoring system based on tyre torsional resonance frequency analysis. Zhejiang Asia-Pacific Mechanical & Electronic Co., Ltd. Hangzhou 311203, China, Received 19 February 2022.
16. Tan Li. Tire and vehicle handling dynamics. Maxxis Technology Center, Maxxis International—USA, Suwanee, GA, United States. Available online 8 February 2023.
17. Kyriakos Grigoriadis, Georgios Mavros, James Knowles, AntoniosPezouvanis. Experimental investigation of tyre–road friction considering topographical roughness variation and flash temperature. Loughborough University, Department of Aeronautical and Automotive Engineering, Epinal Way, Loughborough, LE11 3TU, Leicestershire, United Kingdom, Received 26 August 2022.

18. Brendan Rodgers, Walter Waddell. Tire Engineering // The Science and Technology of Rubber (Fourth Edition). 2013. P. 653-695.
19. Jarosław Pytka, Jarosław Dąbrowski, Maciej Zajac, Piotr Tarkowski Effects of reduced inflation pressure and vehicle loading on off-road traction and soil stress and deformation state // Journal of Terramechanics, Volume 43, Issue 4, October 2006, Pages 469-485.
20. Мураткин С. Е., Колядин П. А., Татаринцев В. Ю. [и др.] / Повышение плавности хода мини-трактора Уралец-254 // Перспективные направления развития автомобильной отрасли и подготовка кадров : Материалы Всероссийской научной конференции, Воронеж, 16 октября 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 79-88. – DOI 10.58168/AuInPT2024_79-88. – EDN YYMUPD.

References

1. Mazur V.V. Improving the smooth running of motor vehicles by internal wheel springing. Moscow. 2004.pp.18-22.
- 2.Rukteshel O.S. Smooth running of the car. Minsk. BNTU, 2021. P. 61.
- 3.Kruchinin P.A. Investigation of human vibrations when standing still. Moscow: Lomonosov Moscow State University, 2018. pp.21-23.
- 4.Lukyanchuk A.D. Vehicle safety. Minsk: BNTU, 2012. pp. 88-90.
5. Ryapolov V.A., Cheshuina T.G. Shaping in the structures of small-scale mechanization // Theory and practice of modern agricultural science. Collection of the III national (All-Russian) scientific conference with international participation. Novosibirsk State Agrarian University. 2020. pp. 86-89.
6. Zakharov N.E. Increasing the cross-country ability of the tillerblock using a combined wheel //Scientific works of students ofIzhevsk State Agricultural Academy. Izhevsk, 2020. pp. 1309-1315.
7. Obolensky V.A., Makov P.V., Spitsyn A.V. On the issue of improving the smooth running of special-purpose rolling stock//Innovative technologies in electronics and instrumentation: collection of reports of the Russian Scientific and Technical Conference with international participation. Moscow, 2021. pp. 283-286.
8. Maksimov E.A., Ustinovsky E.P. Investigation of radial stiffness and damping properties of tractor tires under shock loads // Bulletin of the NGIEL. 2020. No. 4 (107). pp. 16-23. 9.
- 9.Blazhinsky V.R. Development and implementation of a method for determining the dependencies of radial stiffness of automobile tires // XXIV Regional Conference of young scientists and researchers of the Volgograd region: collection of conference materials. 2020. P. 148.
10. Balakina E.V., Kochetov M.V., Sarbaev D.S. Design calculation of the lateral stiffness of the tire when the plane of rotation of the wheel is tilted // Mechanical engineering: online electronic scientific journal. 2023. Vol. 10. No. 3. pp. 39-43.
11. Sevryugina N.S., Savluk A.I., Manzhula A.V. Ways to improve the smooth running of vehicles operated in various road conditions // Innovative materials, technologies and equipment for the construction of modern transport facilities. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2013. pp. 231-235.
12. Gojaev Z.A., Pryadkin V.I., Artyomov A.V., Kolyadin P.A. Evaluation of the influence of tire parameters on car handling // Automotive Industry. 2022. No. 6. pp. 16-21.
13. Tarnovsky V.N., Gudkov V.A., Tretyakov O.B. Automobile tires: Device, work, operation, repair. Transport, 1990. 272 p.
14. Ageikin Ya.S., Volskaya N.S. Modeling of car movement on soft soils: problems and solutions // Automotive industry. 2004. No. 10. pp. 24-25.
15. Liqiang Jin, Xianglong Peng, Jia Liu, Qixiang Zhang, Jianhua Li, Ligang Li. Robust algorithm of indirect tyre pressure monitoring system based on tyre torsional resonance frequency

analysis. Zhejiang Asia-Pacific Mechanical & Electronic Co., Ltd. Hangzhou 311203, China, Received 19 February 2022.

16. Tan Li. Tire and vehicle handling dynamics. Maxxis Technology Center, Maxxis International—USA, Suwanee, GA, United States. Available online 8 February 2023.

17. Kyriakos Grigoriadis, Georgios Mavros, James Knowles, Antonios Pezouvanis. Experimental investigation of tyre–road friction considering topographical roughness variation and flash temperature. Loughborough University, Department of Aeronautical and Automotive Engineering, Epinal Way, Loughborough, LE11 3TU, Leicestershire, United Kingdom, Received 26 August 2022.

18. Brendan Rodgers, Walter Waddell. Tire Engineering // The Science and Technology of Rubber (Fourth Edition). 2013. P. 653-695.

19. Jarosław Pytka, Jarosław Dąbrowski, Maciej Zajac, Piotr Tarkowski Effects of reduced inflation pressure and vehicle loading on off-road traction and soil stress and deformation state // Journal of Terramechanics, Volume 43, Issue 4, October 2006, Pages 469-485.

20. Muratkin S.E., Kolyadin P. A., Tatarintsev V. Yu. [et al.] / Improving the smooth running of the Uralets-254 mini tractor // Promising directions for the development of the automotive industry and personnel training : Proceedings of the All-Russian Scientific Conference, Voronezh, October 16, 2024. Voronezh: Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2024. pp. 79-88. – DOI 10.58168/AuInPT2024_79-88. – EDN YYMUPD.