

DOI: 10.58168/RAuIPP2025_87-100
УДК 629.33.028

Рубцов Е.Г.

преподаватель 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

Татаринцев В. Ю.

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

Rubtsov E.G.

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

Kolyadin P.A.

assistant of 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

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

ИССЛЕДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА В ПОДВЕСКЕ АВТОМОБИЛЯ УАЗ ПАТРИОТ

RESEARCH OF A COMBINED ELASTIC ELEMENT IN THE SUSPENSION OF THE UAZ PATRIOT VEHICLE

Аннотация. В статье описано моделирование задней подвески автомобиля УАЗ Патриот с применением комбинированного упругого элемента. Лабораторно определены упругие характеристики и жесткость шины КАМА-219 размерностью 225/75R16 на стенде СИХШ 2500-1000. Получены на стенде для определения характеристик упругих элементов подвески жесткость предлагаемого пневматического упругого элемента. Полученные характеристики планируется использовать в модели, для получения теоретической оценки плавности хода автомобиля УАЗ Патриот с комбинированным упругим элементом.

Abstract. The article describes the modeling of the rear suspension of the UAZ Patriot car using a combined elastic element. The elastic characteristics and stiffness of the Kama-219 tire with a size of 225/75R16 were determined in the laboratory using the STChT 2500-1000 stand. The stiffness of the proposed pneumatic elastic element was determined using the stand for determining the characteristics of suspension elastic elements. These characteristics will be used in the model to obtain a theoretical assessment of the ride comfort of the UAZ Patriot car with a combined elastic element.

Ключевые слова: шина, пневматический упругий элемент, подвеска, упругие характеристики, автомобиль, моделирование.

Keywords: tire, pneumatic elastic element, suspension, elastic characteristics, car, modeling.

Введение

Параметры автомобилей, едущих по дорогам общего пользования, могут довольно сильно разниться, каждый потребитель определяет особенности их использования. Такими основными параметрами могут являться:

- вид работы автомобиля;
- дорожный просвет;
- перевозимый груз;
- технологическая скорость.

Увеличение производительности автомобилей является одним из наиболее эффективных способов исполнения поставленной задачи. Описанные выше параметры напрямую воздействуют на производительность, но добиться увеличения некоторых параметров на какое-либо существенное значение без снижения показателей остальных параметров представляется довольно сложной конструкторской задачей.

Одним из наиболее эффективных способов увеличения производительности автомобилей является увеличение плавности хода. На сегодняшний день на легковом и на коммерческом транспорте в основном применяется стандартная подвеска с применением стальных пружин или рессор. Однако, данные упругие элементы дают недостаточную плавность хода автомобиля на неровной дороге. В результате выходит, что на стандартной подвеске при движении на неровной дороге снижается средняя техническая скорость, увеличиваются расход топлива и износ элементов подвески.

С помощью пневмоподвески можно во время движения изменять высоту подвески автомобиля в зависимости от нагрузки на подвеску и от дорожных условий. Пневматическая подвеска преимущественно используется на коммерческой технике, такой как грузовики и автобусы, позже данный тип подвески появился и на легковых автомобилях. Вместо пружин и рессор здесь герметичная камера, наполняемая воздухом. Камера с воздухом может быть либо в самом амортизаторе, либо отдельным от него пневмобаллоном. Характеристики от выбранного решения не зависят, основное внимание уделяется компоновке.

Пневматическая подвеска позволяет автомобилю проходить неровности дороги на большей скорости, и с наибольшим комфортом для водителя и пас-

сажира, что положительно сказывается на остальных эксплуатационных характеристиках. Если рассматривать внедорожник модели УАЗ Патриот, то вариант с пневматической подвеской был бы полезен, как и различным госструктурам (Министерство Обороны, МЧС, МВД, РЖД) для выполнения профессиональных задач, так и гражданским потребителям – любителям активного отдыха и путешествий.

В стандартной задней подвеске автомобиля УАЗ Патриот применяется рессора в качестве упругого элемента (рис.1). Техническая характеристика подвески автомобиля УАЗ Патриот представлена в таблице 1.



Рисунок 1 – Задняя подвеска автомобиля УАЗ

К недостаткам такого рода подвесок относится его ограниченный срок службы и невозможность изменять жесткость в процессе эксплуатации автомобильной техники. Также при продолжительном использовании и большой нагрузке на рессоры есть вероятность их быстрого проседания.

Предложено применение комбинированного упругого элемента – пневматического в виде баллона и стального в качестве рессоры (рис. 2). У пневмобаллона жесткость меньше, чем у рессоры, что позволяет ему получить лучшую плавность хода. Также пневмоэлемент имеет лёгкую конструкцию и не требует серьёзных изменений в подвеске автомобиля.

Таблица – Характеристика заводской подвески автомобиля УАЗ Патриот

Параметр	Единица измерения
Жесткость задней рессоры	39,24 кН/м
Неподдрессоренная масса заднего моста	215,6 кг
Поддрессоренная масса, приходящаяся на задний мост	1434,4 кг
Коэффициент демпфирования амортизатора	485,3 Нс/м
Коэффициент демпфирования шины	1468 Нмс/рад
Ход подвески	200 мм
Максимальная деформация шины	100 мм
Давление воздуха в шине	2,2 атм

Использование пневмобаллона позволит добиться большей грузоподъемности, сохранения полного дорожного просвета при любых нагрузках, уменьшения кренов автомобиля, обеспечить более мягкое поддрессирование.



Рисунок 2 – Задняя подвеска автомобиля УАЗ с применением пневмобаллона

Цель проведения исследований: получить исходные данные для модели задней подвески автомобиля УАЗ Патриот с комбинированным упругим элементом

Объект исследований: шины КАМА-219 размерностью 225/75R16, пневматический упругий элемент подвески.

Методика проведения теоретических исследований

Решение поставленной задачи представляется возможным путем составления плоской двухмассовой модели задней подвески автомобиля УАЗ (рисунок 3). Модель описывает колебательную систему с вертикальными перемещениями, которые изначально заданы возмущающей зависимостью $z_d(t)$. Поддрессоренная масса, приходящаяся на задний мост представлена массой M , неподдрессоренные массы заднего ведущего моста задаются массой m . Перемещение масс рассматривается вдоль оси OZ , в которой координаты поддрессоренных и неподдрессоренных масс задаются координатами z_m и z_M . Взаимодействие шины с возмущающей функцией в модели задается упругим коэффициентом $c_{ш}$ и вязким гасящим коэффициентом $d_{ш}$. Подвеска задана упругими коэффициентами рессоры $c_{п}$ и гасящим амортизатором с коэффициентом $d_{п}$. Пневматический элемент «П» характеризуется объёмом $V_{п}$ и давлением газа $P_{п}$. Взаимодействие между поддрессоренной массой M и неподдрессоренной массой m осуществляется точно, по центрам их расположения. Воздействие возмущающей функции опорной поверхности за счет вязко-упругого взаимодействия в шинеприводит к перемещению массы m . А в свою очередь перемещение неподдрессоренной массы приводит к перемещению массы M за счет вязко-упругого взаимодействия в подвеске.

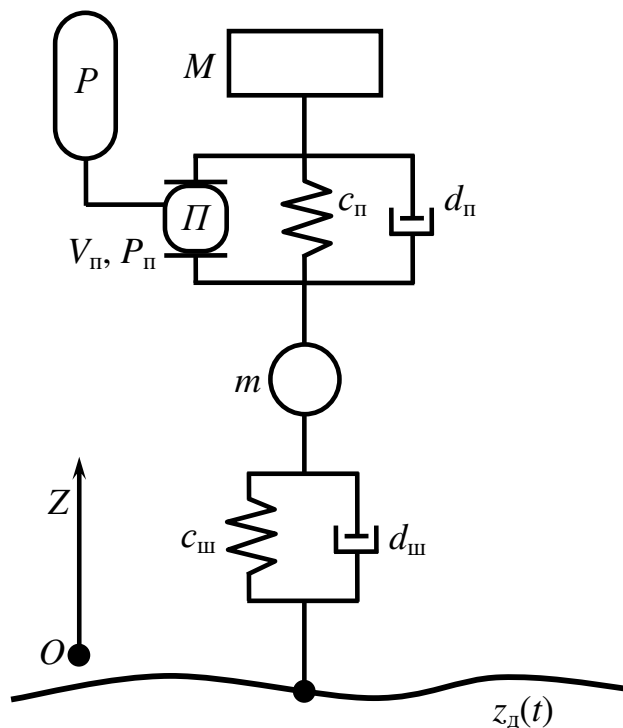


Рисунок 3 – Представление автомобиля в модели в виде двухмассовой системы с пневматическим элементом в подвеске

Уравнения динамики автомобиля записаны в соответствии со вторым законом Ньютона:

$$\begin{cases} \frac{d^2 M}{dt^2} = -Mg + c_n(z_{a0} - (z_M - z_m)) - d_n\left(\frac{dz_M}{dt} - \frac{dz_m}{dt}\right) + P_n S_n; \\ \frac{d^2 m}{dt^2} = -mg - c_n(z_{a0} - (z_M - z_m)) + d_n\left(\frac{dz_M}{dt} - \frac{dz_m}{dt}\right) + \\ + c_{ш}(z_{m0} - (z_m - z_d(t))) - d_{ш}\frac{dz_m}{dt} - P_n S_n; \\ P_n(V_p + S_n(z_{a0} - (z_M - z_m)))^{\frac{7}{5}} = const, \end{cases} \quad (1)$$

где M и m – массы корпуса и колеса, приведенные к заднему мосту; t – время; g – ускорение свободного падения; c_n – коэффициент жесткости рессоры; $c_{ш}$ – коэффициент жесткости шины; z_{a0} – равновесное расстояние между точками m и M ; z_M и z_m – координаты центра масс колеса и точки крепления подвески к корпусу автомобиля; d_n и $d_{ш}$ – коэффициенты демпфирования упругого элемента подвески и шины; z_{m0} – равновесная координата центра масс колеса; z_d – координата точки контакта колеса с опорной поверхностью; P_n – давление газа в пневматическом элементе; S_n – эффективная площадь пневматического элемента; V_p – объем ресивера.

Методика и проведения лабораторных исследований

С целью получения исходных данных для разработанной модели задней подвески автомобиля УАЗ Патриот были проведены комплексные лабораторные исследования. Лабораторные испытания были начаты с шины КАМА-219 размерностью 225/75R16, которая устанавливается на автомобиль УАЗ. Данная шина испытывалась на радиальную деформацию на универсальном стенде СИХШ 2500-1000 (рис. 4).

Характеристика шины снималась на стенде СИХШ 2500-1000 следующим способом. Для начала устанавливалось заданное давление воздуха в шине, после чего снимали радиальную деформацию шины при цикле «нагрузка-разгрузка». Данные опыты также повторялись при других давлениях воздуха. На стенде исследовалась базовая шина КАМА-219 размерностью 225/75R16, устанавливаемая на легковой автомобиль повышенной проходимости УАЗ Патриот.



Рисунок 4 – Шина Кама-219 на стенде СИХШ 2500-1000

Дальше были проведены испытания пневматического упругого элемента (рис. 5). Их целью является определение упругих характеристик пневмобаллона и сравнение с показателями стальной рессоры. Испытания баллона пневматической подвески проводятся на специальном стенде для определения жесткости упругих элементов. Динамометром измеряется подаваемая нагрузка на баллон, которая создаётся гидравлическим домкратом. Манометром измеряется давление воздуха в баллоне. Подача и сброс воздуха осуществляются через специальные электромагнитные клапана.

Нагнетаемым воздухом создается рабочее давление воздуха в пневмоэлементе. С помощью гидравлического домкрата происходит деформация пневмобаллона, прибором через тензометрический датчик фиксируется подаваемая нагрузка, для измерения деформации на стенде закреплена линейка. Таким образом получаем экспериментальную зависимость вертикальной нагрузки от деформации. Давление воздуха отображается на манометре, подсоединённом к пневмоэлементу.

Оборудование для проведения испытаний и схема стенда приведены на рисунке 6. В состав оборудования входят: стенд для определения жесткости упругих элементов, пневмобаллон, линейка, клапан подачи воздуха, клапан сброса воздуха, прибор АЦД 1 с тензометрическим датчиком, компрессор, аккумулятор, трубка пневматическая, гидравлический домкрат, манометр, провода, кнопка открытия клапанов.

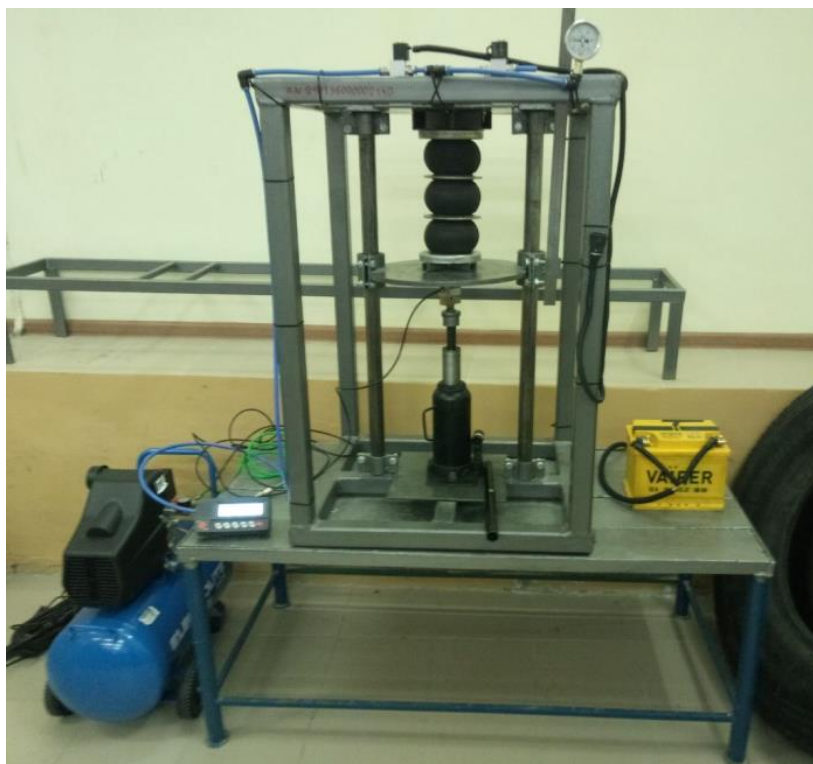


Рисунок 5 – Общий вид установки для проведения испытаний пневмобаллона

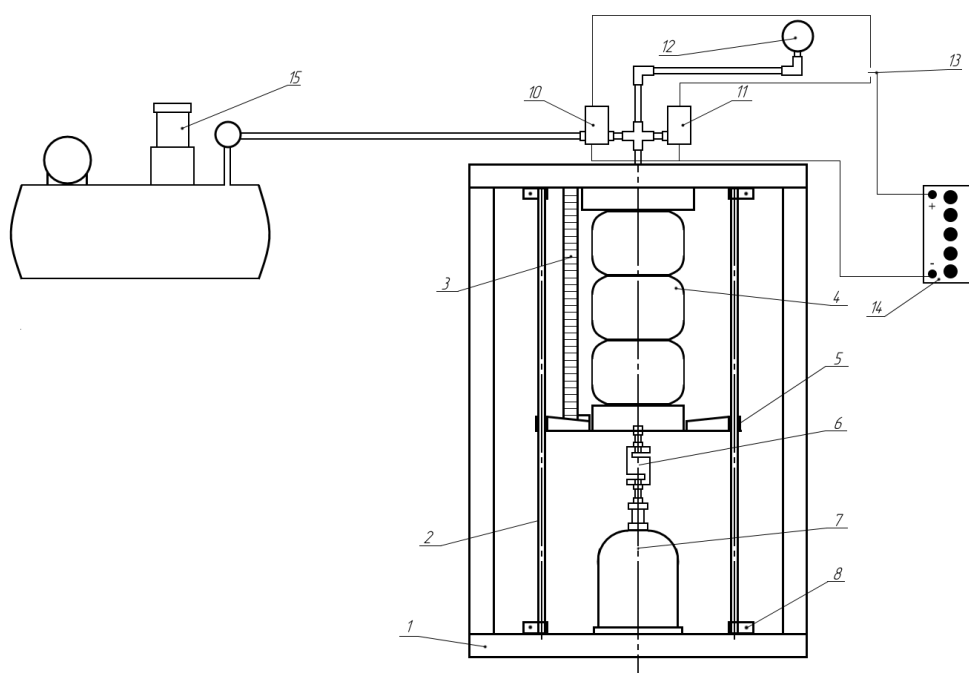


Рисунок 6 – Схема установки для проведения испытаний пневмобаллона

1 – рама; 2 – направляющая; 3 – линейка измерительная; 4 – упругий элемент (пневмобаллон); 5 – втулка линейная; 6 – тензометрический датчик прибора АЦД 1; 7 – опора нижняя; 8 – кронштейн; 9 – трубка пневматическая; 10 – клапан подачи воздуха; 11 – клапан сброса воздуха; 12 – манометр; 13 – кнопка подачи питания на клапана; 14 – аккумуляторная батарея; 15 – компрессор

Перед началом испытаний обеспечивается соответствующая подготовка путем установки пневморессоры на раму стенда и подключением воздушных магистралей. Шланг имеет длину $l = 2$ м, а его сечение $d_{ш} = 10$ мм. Объем ресивера $V_p = 8$ л.

Изменение объема воздуха, поступающего из ресивера внешнего компрессора определяется необходимая деформация и жесткость пневмобаллона. Контроль давления воздуха производится при помощи установленного на стенде пневматического манометра. Изменение давления в пневматическом упругом элементе осуществляется в ручном режиме с использованием электрического клапана управления. Вертикальная нагрузка на пневмобаллон задается через установленный гидравлический домкрат. Контроль вертикальной нагрузки производится при помощи установленного электронного динамометра АЦД-1, установленного между штоком домкрата и опорным подвижным основанием стенда. Вертикальное перемещение опорного основания обеспечивается наличием двух направляющих стоек, расположенных по обоим сторонам от пневмобаллона в вертикальном положении.

Результаты проведения лабораторных исследований

В ходе испытаний шины КАМА-219 была получена зависимость деформации шины от нагрузки при разном давлении, после чего были составлены графики, представленные на рисунке 7. Предельно допустимая нагрузка на шину – 900 килограмм при диапазоне давлений от 1 до 3 атмосфер. Полученная упругая характеристика при внутреннем давлении воздуха в шине 300 кПа имеет предельную деформацию в 0,027 м. Наибольшая максимальная деформация шины КАМА-219 наблюдается при внутреннем давлении 100 кПа, составляющее 0,05 м.

После получения параметров деформации шины, согласно ГОСТ 17697-72, определялась радиальная жесткость.

$$C_z = \frac{\Delta G_z}{\Delta h_z} \quad (2)$$

где ΔG_z – приращение нормальной нагрузки на шину, кН, Δh_z – приращение радиальной деформации шины, м.

На рисунке 8 представлена полученная зависимость жесткости шины от нагрузки. Наблюдается нелинейность жесткости шины на всех участках зависимостей. Сравнивая значения зависимостей при вертикальной нагрузке

на шину в 500 кг жесткость шины составляет 285 кН/м на давлении 300 кПа, 255 кН/м на давлении 250 кПа, 220 кН/м на давлении 200 кПа, 185 кН/м на давлении 150 кПа и 150 кН/м на давлении 100 кПа.

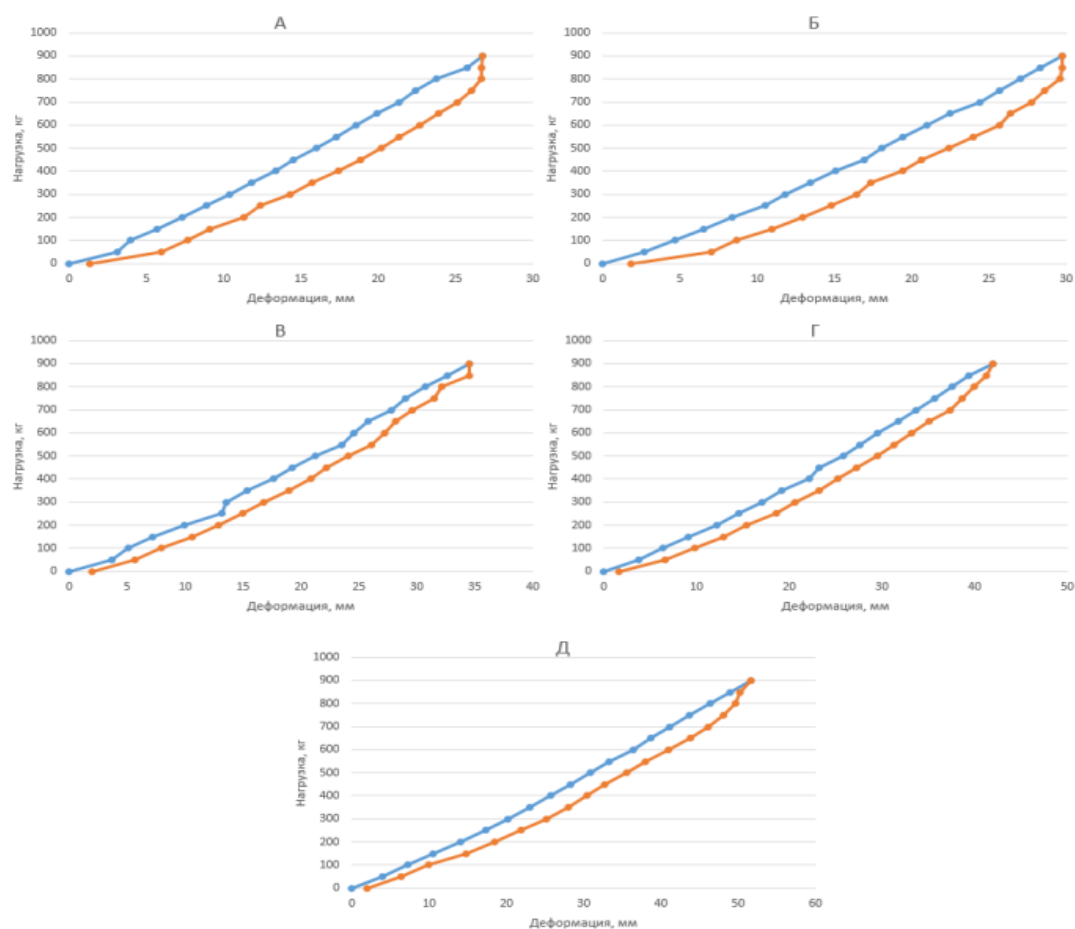


Рисунок 7 – Зависимость деформации шины от нагрузки

А – зависимость при давлении 3 атм; Б – при давлении 2,5 атм; В – при давлении 2 атм; Г – при 1,5 атм; Д – при 1 атм;

Аналогично в ходе испытаний была получена зависимость деформации от нагрузки при разном давлении для пневморессоры, после чего были сделаны графики, представленные на рисунке 9. Предельно допустимая нагрузка на пневмобаллон – 1000 килограмм при диапазоне давлений от 1,5 до 4,5 атмосфер. Полученная упругая характеристика пневмобаллона при внутреннем давлении воздуха 450 кПа имеет предельную деформацию в 0,15 м. Наибольшая максимальная деформация пневматического упругого элемента наблюдается при внутреннем давлении 150 кПа, составляющее 0,19м.

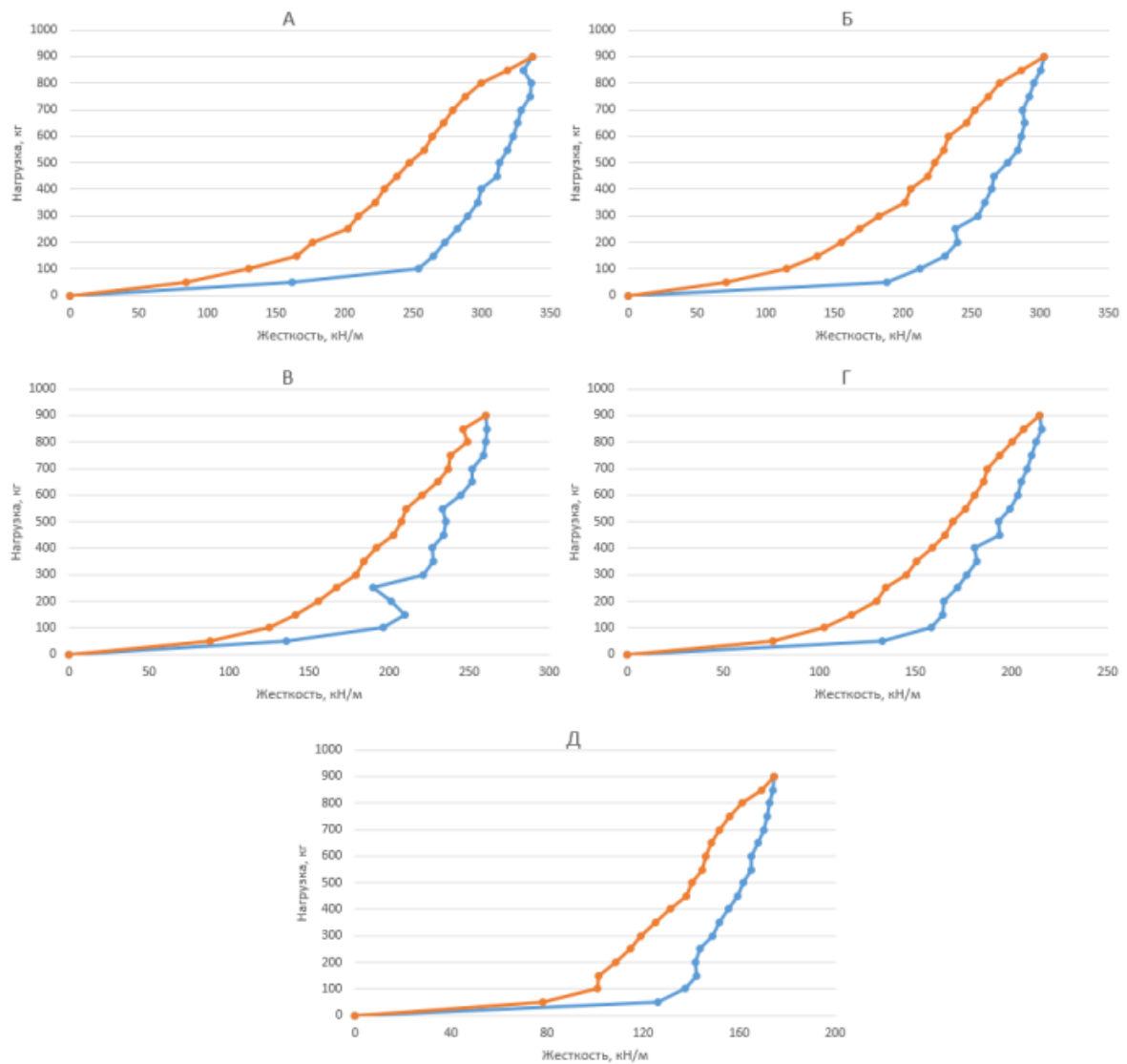


Рисунок 8 – Зависимость жесткости шины от нагрузки

А – зависимость при давлении 3 атм; Б – при давлении 2,5 атм; В – при давлении 2 атм;
Г – при 1,5 атм; Д – при 1 атм

На рисунке 10 представлена полученная зависимость жесткости пневморессоры от нагрузки. Наблюдается нелинейность жесткости пневмобаллона на всех участках зависимостей. Сравнивая значения зависимостей при вертикальной нагрузке на пневматический упругий элемент в 500 кг жесткость составляет 32 кН/м на давлении 150 кПа, 43 кН/м на давлении 300 кПа, и 54 кН/м на давлении 450 кПа.

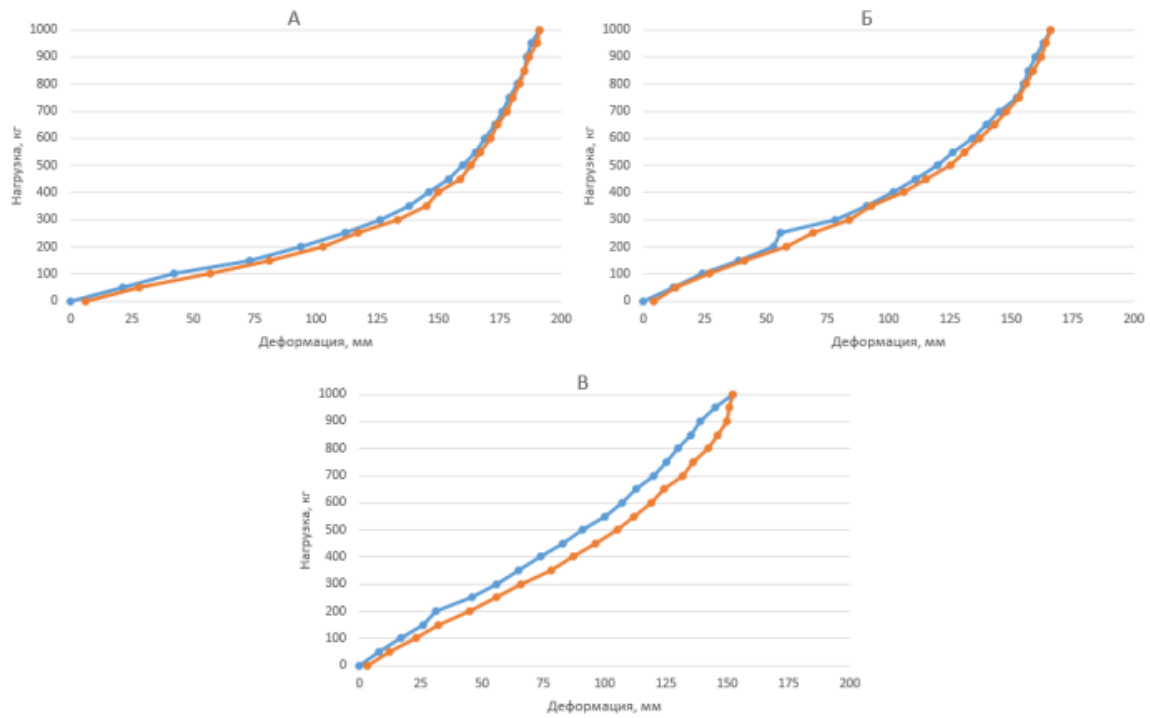


Рисунок 9 – Зависимость деформации пневмобаллона от нагрузки

А – зависимость при давлении 1,5 атм; Б – при давлении 3 атм; В – при давлении 4,5 атм

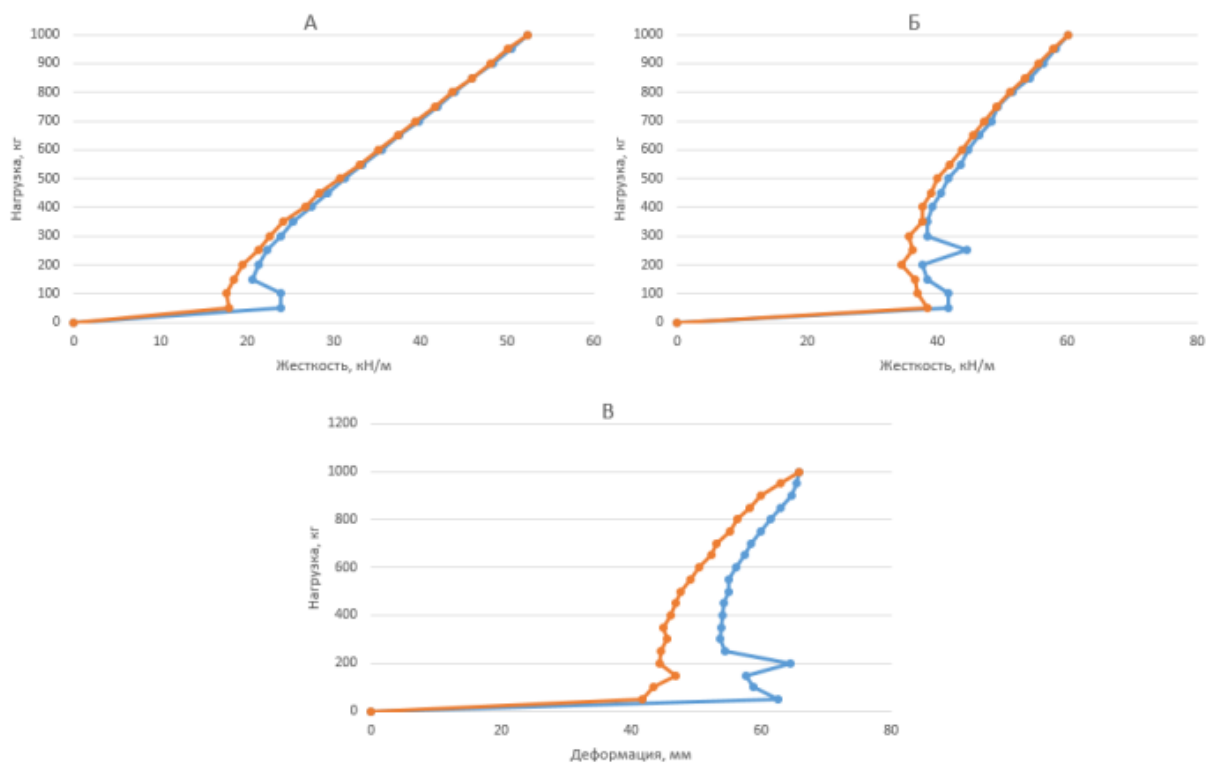


Рисунок 10 – Зависимость жесткости пневмобаллона от нагрузки

А – зависимость при давлении 1,5 атм; Б – при давлении 3 атм; В – при давлении 4,5 атм;

Получение зависимости необходимо использовать для оценки плавности хода автомобиля УАЗ Патриот с комбинированным упругим элементом задней подвески.

Выводы

1. Проведены комплексные лабораторные исследования шины Кама-219 размерностью 225/75R16. Получены упругие характеристики пневматической шины, значения зависимостей которых при вертикальной нагрузке на шину в 500 кг составляет 285 кН/м на давлении 300 кПа, 255 кН/м на давлении 250 кПа, 220 кН/м на давлении 200 кПа, 185 кН/м на давлении 150 кПа и 150 кН/м на давлении 100 кПа. Снижение давления с 300 кПа до 100 кПа снижает жесткость шины в 1,9 раза.

2. Проведены лабораторные исследования пневматического упругого элемента подвески. Упругая характеристика пневматического упругого элемента имеет зависимости при вертикальной нагрузке на пневматический упругий элемент в 500 кг 32 кН/м на давлении 150 кПа, 43 кН/м на давлении 300 кПа, и 54 кН/м на давлении 450 кПа. Увеличение давления в пневматическом упругом элементе с 150 кПа до 450 кПа позволяет увеличить жесткость в 1,69 раз.

Список литературы

1. Певзнер, Я.М. Пневматические и гидропневматические подвески / Я.М. Певзнер, А.М. Горелик – М. : Техника. Технологии. Инженерия., 2016. – 19 с.
2. Равкин, Г.О. Пневматическая подвеска автомобиля / Г.О. Равкин. – М. : Техника. Технологии. Инженерия., 2012 – 77 с.
3. Балабин, И.В. Испытания автомобилей / И.В. Балабин, Б.А. Куров, С.А. Лаптев. – М.: Машиностроение, 1988. – 192 с.
4. Певзнер, Я.М. Пневматические и гидропневматические подвески / Я.М. Певзнер, А.М. Горелик. – М.: Машгиз, 1963. – 319 с.
6. Новиков, В.В. Стендовые испытания пневмоподвески с воздушным демпфером в виде дросселя и обратного клапана / В.В. Новиков – М. : Грузовик. 2007. – № 7. – 43-46 с.
7. Балакина, Е. В. Расчёт нормальной жёсткости шин для тракторов и сельскохозяйственных машин на основе радиуса качения колеса / Е. В. Балакина, И. В. Сергиенко, В. А. Коньшин // Тракторы и сельхозмашины. – 2025. – Т. 92, № 2. – С. 157-167. – DOI 10.17816/0321-4443-634161. – EDN RAMYUQ.
8. Годжаев, З. А. Моделирование движения мобильного энергетического средства на шинах сверхнизкого давления / З. А. Годжаев, В. И. Прядкин, А. В. Артемов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2024. – Т. 18, № 3. – С. 31-38. – DOI 10.22314/2073-7599-2024-18-3-31-38. – EDN PMEWSE.
9. Прядкин, В. И. Вибронагруженность штанг самоходного опрыскивателя на шинах сверхнизкого давления / В. И. Прядкин, П. А. Колядин // Тракторы и сельхозмашины. – 2023. – Т. 90, № 6. – С. 543-550. – DOI 10.17816/0321-4443-567796. – EDN RVHJWO.
10. Перспективные мобильные средства на шинах сверхнизкого давления для сельскохозяйственного производства / З. А. Годжаев, В. И. Прядкин, П. А. Колядин,

А. В. Артемов // Тракторы и сельхозмашины. – 2022. – Т. 89, № 4. – С. 277-286. – DOI 10.17816/0321-4443-115016. – EDN EHPEDS.

References

1. Pevsner, Ya.M. Pneumatic and hydropneumatic suspensions / Ya.M. Pevsner, A.M. Gorelik – M. : Technique. Technologies. Engineering., 2016. – 19 p.
2. Ravkin, G.O. The pneumatic suspension of the car / G.O. Ravkin – M. : Technique. Technologies. Engineering., 2012 – 77 p.
3. Balabin, I.V. Testing of cars. / I.V. Balabin, B.A. Kurov, S.A. Laptev. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1988. 192 p.
4. Pevzner, Ya.M. Pneumatic and hydropneumatic suspensions / Ya.M. Pevzner, A.M. Gorelik. – M.: Mashgiz, 1963. – 319 p.
6. Novikov, V.V. Bench tests of an air suspension with an air damper in the form of a throttle and a check valve / V.V. Novikov – M. : Truck. 2007. – No. 7. – 43-46 p.
7. Balakina, E. V. Calculation of normal tire stiffness for tractors and agricultural machinery based on the rolling radius of the wheel / E. V. Balakina, I. V. Sergienko, V. A. Konshin // Tractors and agricultural machinery. – 2025. – Vol. 92, No. 2. – pp. 157-167. – DOI 10.17816/0321-4443-634161. – EDN RAMYUQ.
8. Gojaev, Z. A. Modeling the movement of a mobile energy vehicle on ultra-low pressure tires / Z. A. Gojaev, V. I. Pryadkin, A.V. Artemov // Agricultural machinery and technologies. – 2024. – Vol. 18, No. 3. – pp. 31-38. – DOI 10.22314/2073-7599-2024-18-3-31-38. – EDN PMEWSSE.
9. Pryadkin, V. I. Vibration load of self-propelled sprayer rods on ultra-low pressure tires / V. I. Pryadkin, P. A. Kolyadin // Tractors and agricultural machinery. – 2023. – Vol. 90, No. 6. – pp. 543-550. – DOI 10.17816/0321-4443-567796. – EDN RVHJWO.
10. Promising mobile means on ultra-low pressure tires for agricultural production / Z. A. Gojaev, V. I. Pryadkin, P. A. Kolyadin, A.V. Artemov // Tractors and agricultural machinery. – 2022. – Vol. 89, No. 4. – PP. 277-286. – DOI 10.17816/0321-4443-115016. – EDN EHPEDS.