

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА
ЛЕСОВОЗНОГО АВТОМОБИЛЯ, ОСНАЩЕННОГО ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКИМИ
ПОДВЕСКАМИ МОДУЛЬНОГО ТИПА**

**COMPUTER MODELING OF THE WORKING PROCESS OF A FOREST TRUCK EQUIPPED
WITH HYDROPNEUMATIC SUSPENSIONS OF MODULAR TYPE**

Посметьев В.И., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

Никонов В.О., кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

Посметьев В.В., кандидат физико-математических наук, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

Posmetev V.I., dr. sci. tech. prof., prof. of department of production, repair and operation of cars Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov”, Voronezh, RF

Nikonov V.O., Ph. D., associate professor of production, repair and operation of cars Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov”, Voronezh, RF

Posmetev V.V., candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the department of forestry mechanization and machine design, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov”, Voronezh, RF

Аннотация. Обосновано влияние конструктивного совершенства подвесок на эффективность функционирования лесовозного автомобиля в процессе вывозки лесоматериалов по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам. Рассмотрено актуальное направление совершенствования подвесок лесовозных автомобилей, позволяющее сократить расход топлива, затраты на проведение технического обслуживания и ремонта, и, следовательно, снизить конечную стоимость вывозимых лесоматериалов. Предложена перспективная схема пневмогидравлической подвески модульного типа, применительно для лесовозного автомобиля. Выполнена на основе компьютерного моделирования предварительная оценка эффективности функционирования предлагаемой пневмогидравлической подвески, установленной на лесовозном автомобиле, при его движении в процессе вывозки лесоматериалов по недостаточно обустроенной лесовозной дороге. Описаны основные факторы, оказывающие существенное влияние на работу пневмогидравлической подвески модульного типа. Получены зависимости изменения максимальных значений вертикального ускорения лесовозного автомобиля, давления в газовой полости пневмогидравлического цилиндра, перепада температур от средней высоты неровностей,

количества препятствий на единице длины лесовозной дороги и скорости движения лесовозного автомобиля. Выявлены численные значения основных факторов, влияющих на функционирование предлагаемой подвески, которые обеспечивают наилучший эффект при движении лесовозного автомобиля по недостаточно обустроенной лесовозной дороге.

Summary. The influence of the constructive perfection of suspensions on the efficiency of the functioning of a logging vehicle in the process of hauling timber along insufficiently equipped logging roads has been substantiated. The current direction of improving the suspension of timber trucks, which allows to reduce fuel consumption, the cost of maintenance and repair, and, consequently, reduce the final cost of exported timber, is considered. A perspective scheme of a pneumohydraulic suspension of a modular type, applied to a timber truck, is proposed. On the basis of computer modeling, a preliminary assessment of the effectiveness of the functioning of the proposed pneumohydraulic suspension installed on a logging vehicle during its movement in the process of hauling timber along an insufficiently equipped logging road has been carried out. The main factors that have a significant impact on the operation of a pneumohydraulic suspension of a modular type are described. The dependences of the change in the maximum values of the vertical acceleration of the timber truck, the pressure in the gas cavity of the pneumohydraulic cylinder, the temperature difference on the average height of irregularities, the number of obstacles per unit length of the timber road and the speed of the timber truck are obtained. The numerical values of the main factors influencing the functioning of the proposed suspension are revealed, which provide the best effect when a timber truck is moving along an insufficiently equipped timber road.

Ключевые слова: лесовозный автомобиль, подвеска, модульная конструкция, компьютерное моделирование, расход топлива, компактность.

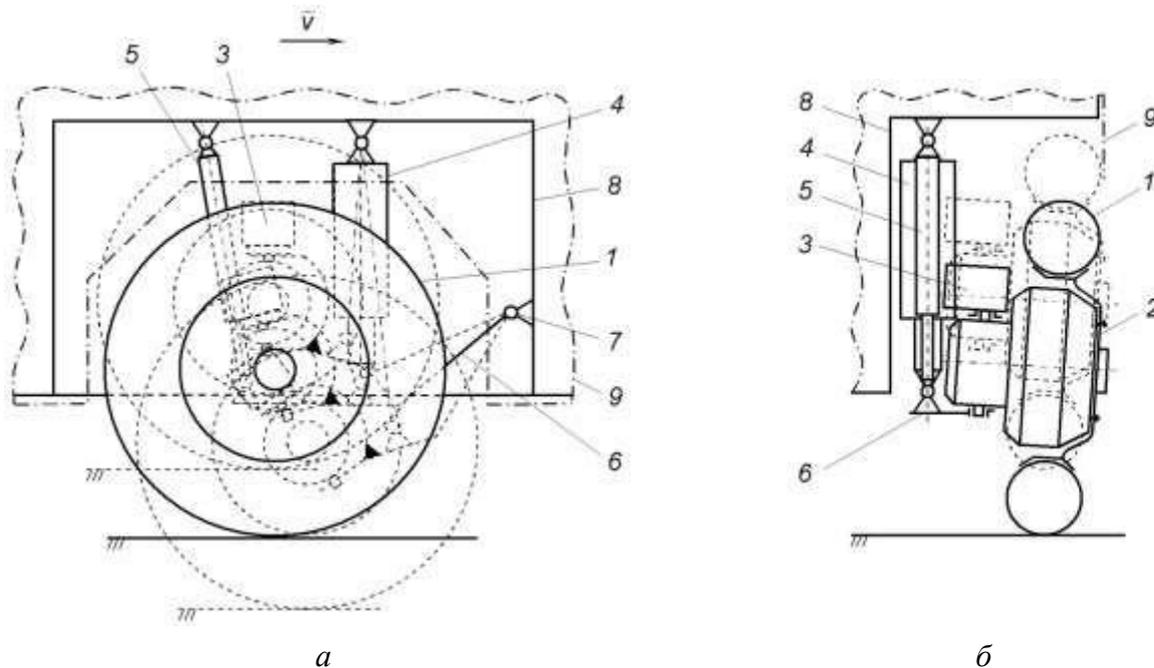
Keywords: timber truck, suspension, modular design, computer simulation, fuel consumption, compactness.

Немаловажное значение на эффективность процесса вывозки лесоматериалов при движении лесовозного автомобиля по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам оказывает конструктивное совершенство его подвески. Разработка перспективных схем подвесок для лесовозных автомобилей, обладающих необходимой компактностью, оптимальными параметрами подрессоривания, позволяющих снизить динамические воздействия, а также накапливать непроизводительно рассеиваемую в пространство энергию при преодолении лесовозным автомобилем неровностей и препятствий на лесовозной дороге, позволит сократить расход топлива и затраты на техническое обслуживание, и текущий ремонт лесовозного автомобиля, а, следовательно и снизить конечную стоимость вывозимых лесоматериалов [1-3].

В этой статье авторами предлагается схема перспективной модульной пневмогидравлической подвески, используемой в конструкции лесовозного автомобиля. Основными элементами этой подвески модульного типа являются: колесо 1, гидравлический мотор-редуктор 2, шаговый гидродвигатель 3, пневмогидроцилиндр 4, амортизатор 5, направляющий рычаг 6, ось 7, рама 8 и панель 9 (рис. 1). Применение таких подвесок в конструкции лесовозного автомобиля, с полным ходом пневмоцилиндров более 250 мм, а также обеспечивающих значительно низкое в сравнении с традиционной конструкцией положение грузовой платформы лесовозного автомобиля, позволяет за счет увеличения полезной площади

платформы размещать лесоматериалы, как в подкузовном, так межколесном пространстве лесовозного автомобиля [4].

С целью предварительной оценки эффективности использования таких подвесок модульного типа в конструкции одиночного лесовозного автомобиля в процессе вывозки им лесоматериалов по недостаточно обустроенным лесовозным дорогам, авторами на основе имитационного моделирования были проведены различные серии компьютерных экспериментов.



a – вид спереди; *б* – вид сбоку

Рисунок 1. Схема перспективной конструкции модульной пневмогидравлической подвески лесовозного автомобиля

Одним из значительных факторов, оказывающих влияние на эффективность работы предлагаемой подвески модульного типа, являются высоты H_H неровностей, имеющих на лесовозной дороге. Для установления зависимостей влияния этих высот H_H неровностей на такие показатели эффективности подвески, как максимальные значения вертикального ускорения a_{zm} лесовозного автомобиля, давление P_m и перепада температур ΔT_m в пневматической полости исследуемой подвески, авторами выполнена серия компьютерных экспериментов, в ходе которых модельный лесовозный автомобиль двигался со скоростью 10 м/с, а высоты H_H неровностей модельной лесовозной дороги последовательно увеличивали с шагом 0,2 м в интервале 0-1 м. Установлено, что при высоте H_H неровностей модельной лесовозной дороги до 0,4 м, функционирование пневмогидравлической подвески позволяет почти полностью выполнить гашение колебаний лесовозного автомобиля, исключив при его движении возможные наклоны, как в продольном, так и в поперечном направлении. Кроме этого, при высотах H_H неровностей 0,4 м, значения вертикального ускорения a_{zm} лесовозного автомобиля не превышает 4 м/с^2 , давления P_m рабочего газа в пневмогидравлическом цилиндре достигает 0,2 Мпа, а перепада температур ΔT_m газа в пневматической полости пневмогидравлического цилиндра составляет 200°C (рис. 2, *a*). При дальнейшем увеличении высоты H_H неровностей модельной лесовозной дороги, устойчивость лесовозного автомобиля в продольном и поперечном направлениях ухудшается. Это

сопровождается значительным ростом максимальных значений вертикального ускорения a_{zm} до 8 м/с², давления P_m рабочего газа в пневматической полости до 0,8 МПа и перепада температур ΔT_m газа до 710⁰С (рис. 2, а).

Следующим существенным фактором, воздействующим на интенсивность функционирования пневмогидравлической подвески модульного типа, является количество препятствий, имеющих на единице длины λ_H лесовозной дороги. С целью исследования влияния этого фактора на показатели эффективности предлагаемой подвески, авторами выполнена серия компьютерных экспериментов, в ходе выполнения которых модельный лесовозный автомобиль двигался со скоростью $v = 10$ м/с, преодолевая максимальное значение высот H_H неровностей достигаемых значений 0,4 м, при изменяемом с шагом 200 км⁻¹ количестве препятствий, имеющих на единице длины λ_H модельной лесовозной дороги в интервале от 0 до 1000 км⁻¹.

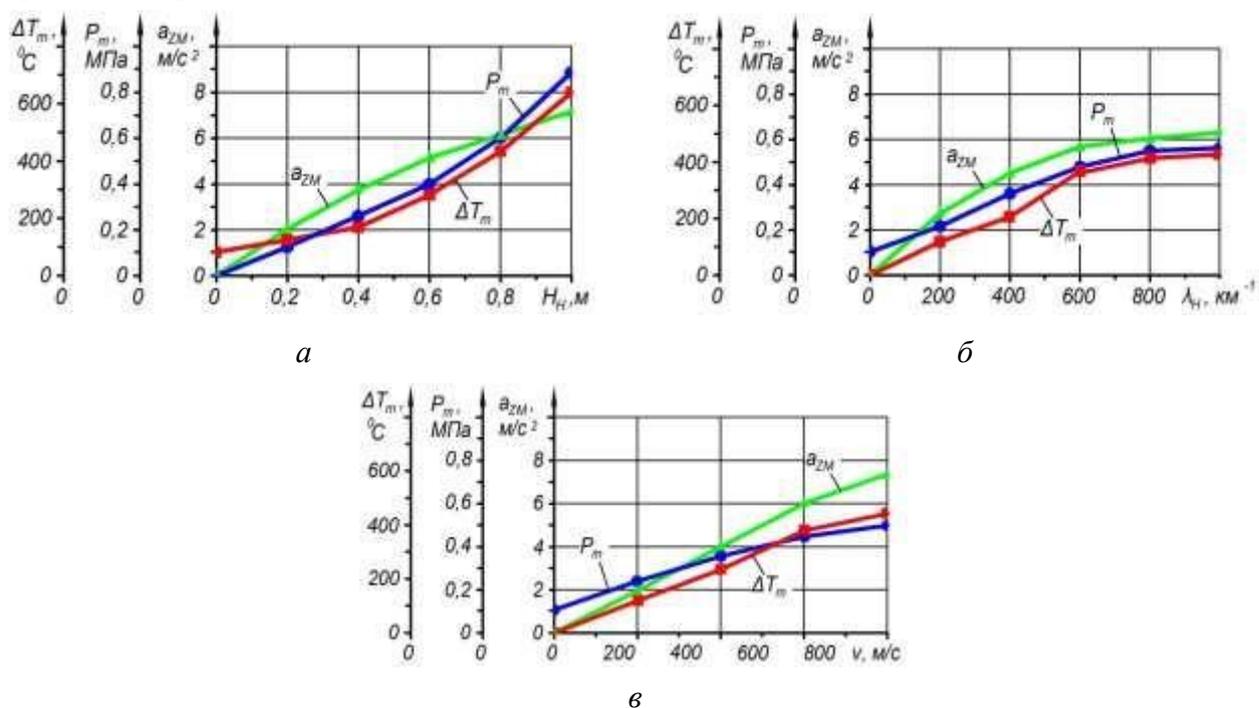


Рисунок 2. Зависимости изменения максимальных значений вертикального ускорения a_{zm} лесовозного автомобиля, давления P_m , перепада температур ΔT_m от средней высоты неровностей H_H (а), количества препятствий на единице длины λ_H лесовозной дороги (б) и скорости движения v лесовозного автомобиля (в)

Выявлено, что повышение количества неровностей λ_H на модельной лесовозной дороге неблагоприятно сказывается на комфортности управления лесовозным автомобилем водителем и показателях эффективности предлагаемой подвески модульного типа. При частоте λ_H неровностей на лесовозной дороге 600 км⁻¹ прослеживается стабилизация показателей эффективности пневмогидравлической подвески, максимальные значения вертикального ускорения a_{zm} лесовозного автомобиля составляет 6,1 м/с², давления P_m газа в

пневмогидравлическом цилиндре достигает 0,53 Мпа, а перепад температур ΔT_m рабочего газа изменяется от 380 до 430 °С (рис. 2, б).

Еще одним важным фактором, от которого зависит интенсивность работы предлагаемой пневмогидравлической подвески, является скорость движения лесовозного автомобиля по лесовозной дороге. Для исследования влияния этого фактора на показатели эффективности работы предлагаемой подвески, авторами проведены несколько серий компьютерных экспериментов, в ходе которых лесовозный автомобиль преодолевал неровности высотой до 0,4 м, с частотой их появления на лесовозной дороге 400 км⁻¹, двигаясь со скоростью v , изменяемой с шагом 5 м/с в интервале от 0 до 20 м/с. Выявлено, что повышая скорость движения лесовозного автомобиля, происходит возрастание исследуемых показателей эффективности предлагаемой пневмогидравлической подвески модульного типа. Также, из полученных зависимостей видно, что предлагаемая пневмогидравлическая подвеска работоспособна на всем исследуемом диапазоне скоростей движения лесовозного автомобиля (рис. 2, в).

Таким образом, предварительная оценка эффективности функционирования лесовозного автомобиля, оснащенного предлагаемыми пневмогидравлическими подвесками модульного типа, показала, что наилучший эффект при их работе, обеспечивающий комфортные условия работы водителя будет достигнут при движении лесовозного автомобиля по модельной лесовозной дороге с частотой λ_H препятствий на единице длины не превышающей 400 км⁻¹, с высотой H_H неровностей на ней до 0,4 м и скоростью v движения лесовозного автомобиля в интервале 5-10 м/с.

Список литературы

1. Dabrowska A Hydropneumatic suspension efficiency in terms of the teleoperated unmanned ground vehicle tests / Dabrowska A, Przybysz M, Rubiec A, Spadlo K // Intelligent technologies in logistics and mechatronics systems – ITELMS 2015, pp. 110-116. Bibliogr.: pp. 110-116 (10 titles).
2. Dong XT An improved rollover index based on BR neural for hudropneumatic suspension / Dong XT, Jiang Y, Zhong Z, Zang W, Liu W // Mathematical problems in engineering, 2018 7859521. Bibliogr.: pp. 1-16 (32 titles). – DOI 10.1155/2018/7859521.
3. Demyanov D N Clearance control of vehicle with hydropneumatic suspension and the wheel formula 8 × 8 / D N Demyanov, V S Karabtsev, A I Malinov// IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering 489 (2019) 012053. Bibliogr.:pp. 1-7 (3 titles). – DOI 10.1088/1757-899X/489/1/012053.
4. Посметьев, В. И. Перспективы использования колесных модулей в грузовых автомобилях / В. И. Посметьев, В. О. Никонов // Строительные и дорожные машины. – 2018. – № 10. – С. 37-43. – Библиогр.: с. 37-43 (8 назв.).

References

1. Dabrowska A, Przybysz M, Rubiec A, Spadlo K Hydropneumatic suspension efficiency in terms of the teleoperated unmanned ground vehicle tests, *Intelligent technologies in logistics and mechatronics systems – ITELMS 2015*, pp. 110-116.
2. Dong XT, Jiang Y, Zhong Z, Zang W, Liu W An improved rollover index based on BR neural for hudropneumatic suspension, *Mathematical problems in engineering*, 2018 7859521 ; doi : 10.1155/2018/7859521.
3. D N Demyanov, V S Karabtsev, A I Malinov Clearance control of vehicle with hydropneumatic suspension and the wheel formula 8×8 , *Materials Science and Engineering* 489 (2019) 012053 ; doi : 10.1088/1757-899X/489/1/012053.
4. Posmetev V. I., Nikonov V. O. Perspektivi ispolzovaniya kolesnih modulei v gruzovih avtomobilyah [Prospects for the use of wheel modules in trucks]. *Stroitelnie i dorojnie mashini* [Construction and road machines], 2018. – № 10. – p. 37-43. (In Russian).