

## ОЦЕНКА КОРРЕКТИРОВКИ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПЕРЕДНЕЙ ПОДВЕСКИ МАЛОТОННАЖНЫХ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Посметьев В.И., Никонов В.О.*

*Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж*

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, передняя подвеска, периодичность технического обслуживания, малотоннажный грузовой автомобиль, корректировка.

**Аннотация.** Приведены результаты компьютерного моделирования по движению малотоннажного грузового автомобиля по неровной опорной поверхности с заданными параметрами автомобиля и условиями его движения, проводимые для определения колебаний в шаровом шарнире подвески, расчета износа и корректировки пробега до его замены.

## ASSESSMENT OF THE CORRECTION OF THE PERIOD OF MAINTENANCE OF THE FRONT SUSPENSION OF SMALL-LOADED CARS ON THE RESULTS OF COMPUTER MODELING

*Posmetev V.I., Nikonov V.O.*

*Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov", Voronezh*

**Keywords:** computer simulation, front suspension, frequency of maintenance, light commercial vehicle, adjustment.

**Abstract.** The results of computer simulation on the movement of a small truck on an uneven supporting surface with the specified parameters of the car and the conditions of its movement, carried out to determine the fluctuations in the ball joint of the suspension, calculate wear and adjust the mileage before replacing it, are presented.

Наиболее ответственными узлами передней подвески (ПП) малотоннажных грузовых автомобилей (МГА), имеющих наименьшую наработку между заменами и требующими наиболее точного определения периодичности технического обслуживания (ТО), а также оказывающих существенное воздействие на надежность всего МГА, безопасность при движении и эффективность, являются шаровые шарниры (ШШ).

Чаще всего ШШ является неразборным узлом, что существенно затрудняет определение его технического состояния в условиях автотранспортных и авторемонтных предприятий. В настоящее время ТО ШШ ПП МГА не уделено должного внимания, не предложено научно-обоснованных рекомендаций для точной корректировки периодичности ТО, в

зависимости от условий эксплуатации МГА. Исследование, направленное на разработку рекомендаций по корректировке ТО ШШ ПП МГА будет способствовать достижению значительного экономического эффекта в сфере технической эксплуатации МГА [1-3].

Среди значимых факторов, определяющих износ ШШ, выделяют неровность опорной поверхности и низкие температуры. Обзор существующих литературных материалов показал, что воздействие данных факторов на процесс износа ШШ недостаточно исследован. Поэтому для определения износа ШШ в зависимости от рельефа опорной поверхности и температуры окружающей среды, и обоснования на этой основе необходимости корректировки периодичности ТО ПП МГА авторами была разработана компьютерная программа на языке Object Pascal в среде программирования Borland Delphi для прогнозирования технического состояния ШШ ПП МГА [4].

Компьютерная программа позволяет на основе имитации движения колеса МГА по опорной поверхности с неровностями определять колебания в ШШ ПП, износ в ШШ и его пробег до замены. Также, она предоставляет возможность изменять параметры МГА, неровностей опорной поверхности, условия движения МГА (скорость движения, нагрузка на колесо, температура окружающей среды), выполнять вывод на экран компьютера в конце моделирования графиков исследуемых зависимостей.

Разработанная компьютерная программа дает возможность исследовать влияние большого количества условий движения МГА на интенсивность износа ШШ ПП. На рисунке 1 схематично отражена взаимосвязь основных входных задаваемых параметров и выходных исследуемых в компьютерной программе характеристик.



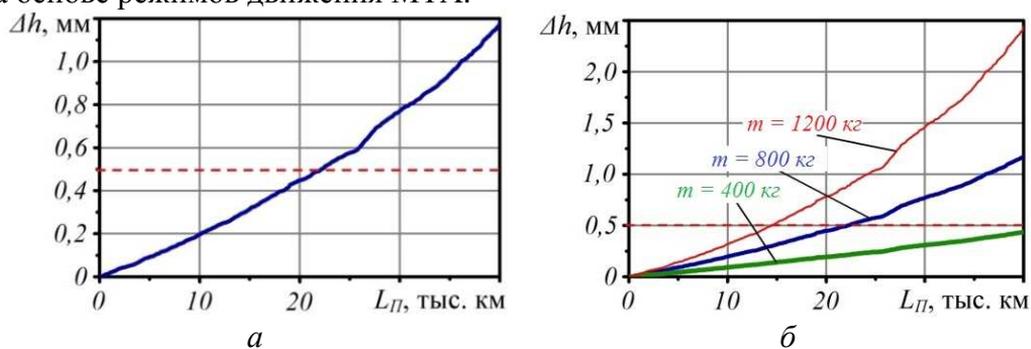
$m$  – масса, приведенная к ПП рассматриваемого колеса;  $v$  – средняя скорость движения МГА;  $h_{cp}$  – средняя величина неровностей опорной поверхности;  $T$  – температура ШШ в процессе эксплуатации;  $\Delta h(L_{\Pi})$  – зависимость величины износа пары трения в ШШ от пробега МГА;  $L_{\Pi кр}$  – критический пробег

Рис. 1. Взаимосвязь основных входных и выходных параметров исследуемых в компьютерной программе

При проведении базового компьютерного эксперимента рельеф опорной поверхности соответствовал дороге с асфальтобетонным покрытием среднего качества с высотой неровностей 5 см. Для расчета перемещения поверхностей

трения ШШ друг относительно друга в компьютерной программе предварительно определяется функция вертикальных перемещений колеса МГА  $z_{\Pi}(x)$ . На основании функции  $z_{\Pi}(x)$  рассчитывалась функция угловой скорости шарового пальца относительно вкладыша шарнира  $\omega(t)$ . Далее, используя функцию  $\omega(t)$  в компьютерной программе выполнялся расчет износа для определения функции износа от времени  $\Delta h(t)$ . Для базового набора параметров (приведенная к ШШ масса 700 кг, средняя скорость движения МГА 40 км/ч, средняя высота неровностей опорной поверхности 0,05 м, температура окружающей среды +25 °С) определен износ ШШ для пробега МГА в 40 тыс. км (рис. 2, а). Полученная зависимость показывает, что увеличение износа происходит нелинейно, и достигает критической величины 0,5 мм при пробеге МГА 22,15 тыс. км.

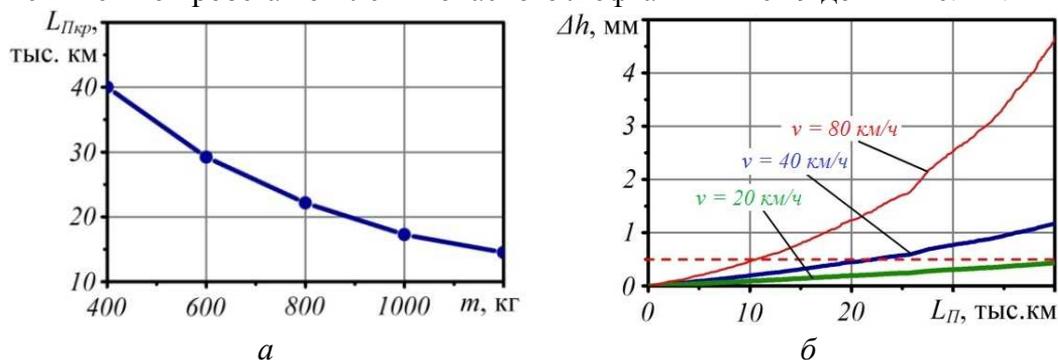
Первым фактором, влияющим на износ ШШ является воздействующая на него нагрузка. Последовательно изменяя приведенную к ШШ массу  $m$  с шагом 200 кг от 400 до 1200 кг провели серию компьютерных экспериментов влияния нагрузки на износ ШШ. Выявлено, что с увеличением массы  $m$ , зависимости износа ШШ от времени  $\Delta h(t)$  существенно изменяются (рис. 2, б). Пересечение графиков  $\Delta h(t)$  с критическим уровнем  $\Delta h_{кр} = 0,5$  мм (обозначается на рис. 2 штриховой линией) позволили определить критические значения пробега  $L_{\Pi}$  МГА для исследуемых масс  $m$ , и на этой основе построить зависимость  $L_{\Pi}(m)$  (рис. 3, а). Полученная зависимость имеет экспоненциально убывающий характер. При повышении нагрузки на ШШ с 400 до 800 кг (соответственно незагруженный и загруженный МГА), значение пробега, при котором в ШШ возникает опасный люфт уменьшается с 40 до 22 тыс. км. Этот результат дает возможность более точно прогнозировать ТО ПП на основе режимов движения МГА.



а – для базового набора параметров; б – при различной приведенной к шарниру массе  $m$   
Рис. 2. Графики зависимостей износа от пробега

Вторым фактором, влияющим на износ ШШ является средняя скорость  $v$  движения МГА. Для исследования влияния средней скорости  $v$  движения МГА на интенсивность износа  $\Delta h$  выполнена серия компьютерных экспериментов, в которых поэтапно с шагом 10 км/ч изменяли скорость  $v$  движения МГА с 20 до 80 км/ч. Выявлено, что при возрастании средней скорости  $v$  движения МГА происходит увеличение износа ШШ ПП (рис. 3, б).

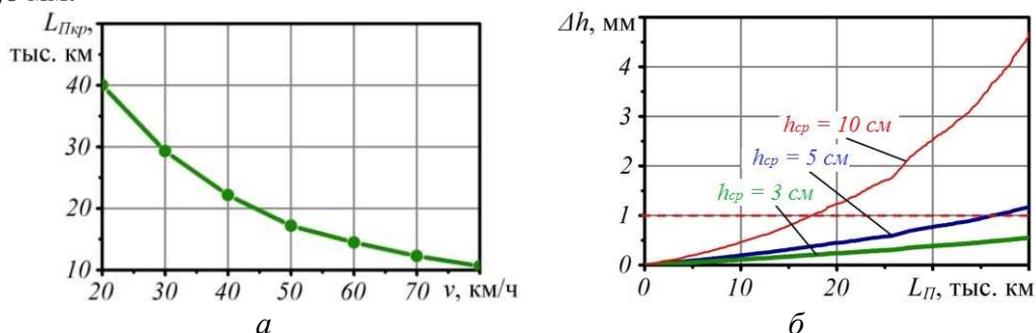
На рисунке 4, *a* приведена зависимость критического пробега  $L_{Пкр}$  от средней скорости  $v$  МГА, имеющая экспоненциальный убывающий характер. Увеличение скорости  $v$  движения МГА с 30 км/ч до 60 км/ч приводит к уменьшению пробега появления опасного люфта в ШШ с 29 до 14 тыс. км.



*a* – приведенной к ШШ массы  $m$  от критической величины пробега  $L_{Пкр}$ ;  
*б* – износа  $\Delta h$  от пробега  $L_{П}$

Рис. 3. Графики зависимостей

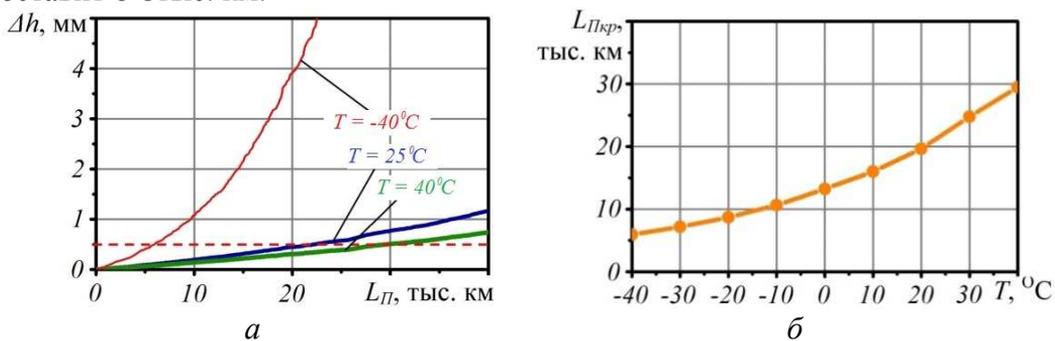
Третьим фактором, оказывающим существенное влияние на интенсивность износа ШШ является амплитуда и частота относительного перемещения частей ШШ при движении МГА по опорной поверхности с неровностями. Для исследования влияния средней высоты неровностей  $h_{cp}$  опорной поверхности на интенсивность износа  $\Delta h$  выполнена серия компьютерных экспериментов, в которых поэтапно с шагом 1 см изменяли среднюю высоту неровностей  $h_{cp}$  с 3 до 10 см. Выявлено, что при средней высоте неровностей  $h_{cp} \leq 3$  см износ  $\Delta h$  ШШ увеличивается незначительно (при пробеге  $L_{П}$  МГА в 40 тыс. км износ  $\Delta h$  ШШ увеличивается на 0,6 мм). С повышением значения средней высоты неровностей  $h_{cp} \geq 5$  см, увеличивается и интенсивность износа  $\Delta h$  ШШ (рис. 4, *б*). При значениях пробега  $L_{П}$  МГА в 40 тыс. км и средней высоты неровностей  $h_{cp} = 10$  см, износ  $\Delta h$  ШШ составил 4,6 мм.



*a* – средней скорости  $v$  движения МГА от критической величины пробега  $L_{Пкр}$ ;  
*б* – износа  $\Delta h$  от пробега  $L_{П}$  МГА

Рис. 4. Графики зависимостей

Четвертым немаловажным фактором, влияющим на интенсивность износа  $\Delta h$  ШШ является температура  $T$  окружающей среды. С целью исследования воздействия температуры  $T$  окружающей среды на интенсивность износа  $\Delta h$  ШШ и предельный допустимый пробег  $L_{\Pi}$  МГА выполнена серия компьютерных экспериментов, в которых поэтапно с шагом  $10^{\circ}\text{C}$  изменяли температуру  $T$  окружающей среды с  $-40$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ . Выявлено, что при температуре  $T$ , соответствующей летнему времени года  $+25 \dots +40^{\circ}\text{C}$  износ  $\Delta h$  ШШ за пробег  $L_{\Pi}$  МГА 20 тыс. км не превышает значения 0,5 мм, а при температуре  $T$ , соответствующей зимнему времени года  $-40^{\circ}\text{C}$  за такой же пробег  $L_{\Pi}$  МГА значение интенсивности износа  $\Delta h$  составило 4 мм (рис. 5,а). Полученный график зависимости значения критического пробега  $L_{\text{Пкр}}$  МГА от температуры  $T$  окружающей среды при нагрузке на ШШ 800 кг, средней скорости  $v$  движения МГА 40 км/ч и движении МГА по асфальтобетонному покрытию среднего качества с высотой неровности 5 см имеет возрастающий экспоненциальный характер (рис. 5, б). Из него следует, что при эксплуатации МГА летом, с температурой  $T$  окружающей среды  $+10 \dots +30^{\circ}\text{C}$  ресурс ШШ составит 16-25 тыс. км, при эксплуатации МГА ранней весной или поздней осенью, с температурой  $T$  окружающей среды  $-10 \dots 0^{\circ}\text{C}$  ресурс ШШ составит 11-14 тыс. км, при эксплуатации МГА зимой, с температурой  $T$  окружающей среды  $-40 \dots -30^{\circ}\text{C}$  ресурс ШШ составит 6-8тыс. км.



а – износа  $\Delta h$  от пробега  $L_{\Pi}$  при различной температуре  $T$ ;  
 б – температуры  $T$  на критическую величину пробега  $L_{\text{Пкр}}$

Рис. 5 – Графики зависимостей

Таким образом, полученные результаты исследования на основе компьютерного моделирования позволяют при знании массы  $m$  загруженного МГА, скорости  $v$  его движения, качества асфальтобетонного покрытия и температуры  $T$  окружающей среды обоснованно выполнять корректировку периодичности ТО ПП МГА.

#### Список литературы

1. Тотьмянин С.В. Анализ эффективности методов определения периодичности технического обслуживания передней подвески малотоннажных грузовых автомобилей / С.В. Тотьмянин, В.И. Посметьев, В.О. Никонов // Воронежский научно-технический вестник. – 2018. – Т. 4, №4(26). – С. 4-12.

2. Попов Д.А. Перспективный подход к установлению периодичности технического обслуживания автомобилей / Д.А. Попов, В.О. Никонов, М.А. Панин // Бюллетень транспортной информации. – 2019. – № 2 (284). – С. 24-29.
3. Посметьев В.И. Результаты компьютерного моделирования движения лесовозного автопоезда с рекуперацией энергии в его подвеске / В.И. Посметьев, В.О. Никонов, В.В. Посметьев // Лесотехнический журнал. – 2018. – № 3. – С. 176-187.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019617932. Программа для прогнозирования технического состояния шаровых шарниров передней подвески автомобиля / В.И. Посметьев, В.О. Никонов, В.В. Посметьев; правообладатель Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова. – Заявл. 13.06.2019; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 25.06.2019.

### References

1. Totmyanin S.V., Posmetev V.I., Nikonov V.O. Analysis of the effectiveness of methods for determining the frequency of maintenance of the front suspension of small trucks // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. 2018. – Vol. 4, №4(26). – P. 4-12.
2. Popov D.A., Nikonov V.O., Panin M.A. A promising approach to establishing the frequency of vehicle maintenance // Transport Newsletter. – 2019. – №2(284). – P. 24-29.
3. Posmetev V.I., Nikonov V.O., Posmetev V.V. The results of computer simulation of the movement of a forest road train with energy recovery in its suspension // Forestry magazine. – 2018. – № 3. – P. 176-187.
4. Certificate of state registration of a computer program № 2019617932. The program for predicting the technical condition of ball joints of the front suspension of the car / Posmetev V.I., Nikonov V.O., Posmetev V.V.; copyright holder Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov. – Declared 06.13.2019; registered in the Register of computer programs 06.25.2019.

#### *Сведения об авторах:*

#### *Information about authors:*

<b>Посметьев Валерий Иванович</b> – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин, posmetyev@mail.ru	<b>Posmetev Valerii Ivanovich</b> – doctor of technical sciences, professor, professor of department of production, repair and operation of cars, posmetyev@mail.ru
<b>Никонов Вадим Олегович</b> – кандидат технических наук, доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин, 8888nike8888@mail.ru	<b>Nikonov Vadim Olegovich</b> – candidate of technical sciences, associate professor of production, repair and operation of cars, 8888nike8888@mail.ru
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г.Воронеж, Россия	Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

*Получена 26.08.2019*