

УДК 629.113

## Исследования пневматических шин при комплексном нагружении колеса

С.П. Рыков<sup>1</sup>, В.Н. Тарасюк<sup>1</sup>, В.С. Коваль<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия. E-mail: TVN66@yandex.ru  
Статья поступила 15.02.2012, принята 20.08.2012

*Представлены методы моделирования и результаты экспериментальной оценки неупругого сопротивления в пневматических шинах при комплексном нагружении колеса с использованием уникальных шинных стендов и оборудования кафедры «Автомобильный транспорт» Братского государственного университета. В качестве основной принята модель, которая построена на математическом описании характеристики нормальной жесткости шины уравнением эллипса, а связи амплитудных значений силы неупругого сопротивления и прогиба шины уравнением степенной функции. Экспериментальная оценка комплексного нагружения осуществлялась на шинах легковых и малотоннажных грузовых автомобилей с использованием оригинальных методик. Результаты эксперимента позволили сделать вывод о том, что дополнительное к нормальному нагружению шины продольной или боковой силой не выводит значения параметров модели из тех пределов, которые были получены при одинарном нагружении нормальной силой.*

**Ключевые слова:** пневматическая шина, неупругое сопротивление, эллиптически-степенная модель, комплексное нагружение, методы моделирования, эксперимент.

## Pneumatic tyres study under complex wheel loading

S.P. Rykov<sup>1</sup>, V.N. Tarasyuk<sup>1</sup>, V.S. Koval<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bratsk State University, 40 Makarenko str., Bratsk, Russia. E-mail: TVN66@yandex.ru  
The article received 15.02.2012, accepted 20.08.2012

*The modeling methods and the results of experimental evaluation of inelastic resistance in pneumatic tyres under the complex wheel loading employing the unique tyre stands and the facilities of the "Motor transport" department of Bratsk State University have been presented. The model based on the mathematical description of the tyre normal stiffness characteristics by means of the ellipse equation and the relationships between the force amplitude values of inelastic resistance and the tyre deflection – by means of power function equation has been accepted as a basic one. The complex loading experimental evaluation was carried out on the tyres of cars and light-duty vehicles using special methods. The results of the experiment enabled to make a conclusion that the tyre loading by the longitudinal or side force additional to the normal doesn't exceed the model parameters values out of the limits obtained by means of the normal force single loading.*

**Keywords:** pneumatic tyre, inelastic resistance, elliptic-exponential model, complex loading, modeling methods, experiment.

**Актуальность.** В реальных условиях движения автомобиля на колесо с пневматической шиной действует не только нормальная нагрузка, но одновременно с ней боковая, возникающая при криволинейном движении, или продольная, возникающая при торможении или разгоне, а то и все вместе. Такое сложное (комплексное) нагружение шины существенно влияет на ее выходные характеристики, и прежде всего на нормальную жесткость и неупругое сопротивление, которые, в свою очередь, определяют плавность хода автомобиля и динамическую нагруженность его агрегатов и силовой конструкции. В то же время, исследований неупругого сопротивления (поглощающей способности) в пневматических шинах при комплексном нагружении колеса ничтожно мало, а в имеющихся сила неупругого сопротивления описывается вязкой моделью, что ничем не обосновано, кроме простоты математического выражения.

**Математическая модель.** Поскольку, вне зависимости от режима движения автомобиля и, следовательно, условий нагружения колеса, одной из основных выходных характеристик шины является ее характеристика нормальной жесткости, то вполне правомерно применить для описания неупругого сопротивления в шине при комплексном нагружении колеса закономерности, выявленные при исследовании нагружения колеса только нормальной силой.

Эти закономерности для силы неупругого сопротивления (поглощающей способности) строятся на математическом описании характеристик нормальной жесткости шины уравнением эллипса, а связи амплитудных значений силы неупругого сопротивления и прогиба шины – уравнением степенной функции, и получили название «эллиптически-степенная модель (ЭСМ)» [1].

Аналитическое выражение модели имеет вид:

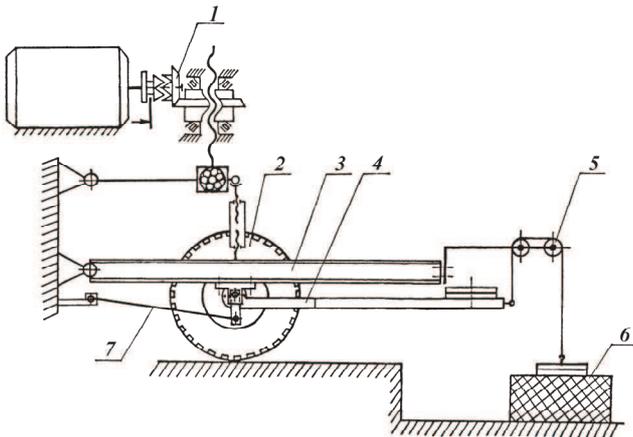
$$F = \pm H_{\text{ш}} h_{z\alpha}^n \sqrt{1 - (h_z / h_{z\alpha})^2}, \quad (1)$$

где  $H_{\text{ш}}, n$  – параметры модели, отражающие степень проявления поглощающих свойств шины;  $F, h_z$  – текущие значения силы неупругого сопротивления и прогиба шины;  $h_{z\alpha}$  – амплитудное значение прогиба шины.

Эллиптическо-степенная модель достаточно полно разработана теоретически и экспериментально апробирована на большом числе пневматических шин различного типоразмера, что позволило выявить постоянство параметров модели при варьировании эксплуатационных факторов (внутреннего давления воздуха, температуры покрышки, уровня статической нагрузки и частоты нагружения) в рабочем диапазоне их значений [2]. Этот фактор определяет преимущество ЭСМ в сравнении с другими применяемыми моделями для описания неупругого сопротивления в шинах, например, моделями вязкого, сухого, позиционного трения или их комбинациями.

Таким образом, для обоснования применимости эллиптическо-степенной модели в случае сложного (комплексного) нагружения колеса необходимо исследовать влияние дополнительного нагружения шины продольной или боковой силами на параметры модели  $H_{\text{ш}}$  и  $n$ .

**Методы и средства эксперимента.** Для исследования влияния комплексного нагружения колеса на упругие и поглощающие свойства шин были разработаны оригинальные методики и создано новое специальное оборудование [3], позволившие проводить эксперименты в условиях шинных стендов кафедры автомобильного транспорта Братского государственного университета, включая универсальный шинный стенд, стенд комплексного нагружения, динамометрическую площадку и измерительно-информационную систему [4].

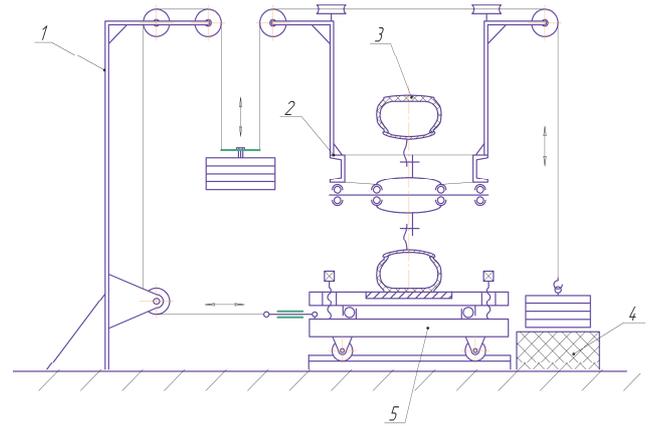


**Рис. 1.** Схема оборудования для продольного догружения испытываемой шины, смонтированного на универсальном шинном стенде: 1 – электромеханический привод для вертикального нагружения колеса; 2 – колесо с испытываемой шиной; 3 – колесная рама; 4 – консоль для продольного догружения колеса; 5 – тросово-блочная система; 6 – упругое основание; 7 – измерительный параллелограмм.

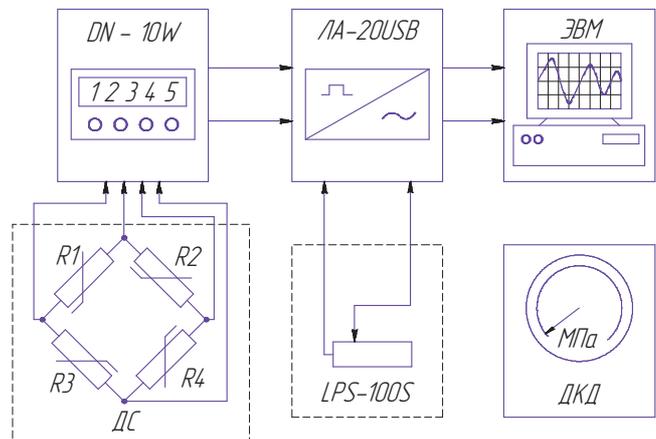
Согласно отраслевым стандартам, регламентирующим режим нагружения колеса при построении харак-

теристики нормальной жесткости шины, этот процесс должен быть непрерывным, с определенной скоростью деформации шины. Чтобы осуществить такой режим при дополнительном нагружении колеса, необходимо обеспечить непрерывное догружение шины боковой или продольной силами без проскальзывания, т. е. пропорционально нормальной силе, с учетом коэффициента сцепления шины с опорной поверхностью.

Схемы специального оборудования, реализующего указанную методику комплексного нагружения колеса, приведены на рис. 1 и 2, а схема измерительно-информационной системы – на рис. 3.



**Рис. 2.** Схема оборудования для бокового догружения испытываемой шины, смонтированного на стенде комплексного нагружения: 1 – силовая стойка с тросово-блочной системой для бокового догружения колеса; 2 – колесная рама для вертикального нагружения колеса; 3 – колесо с испытываемой шиной; 4 – упругое основание; 5 – динамометрическая площадка

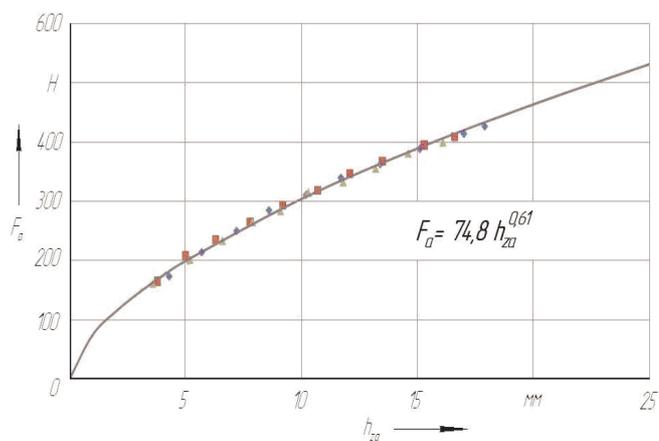
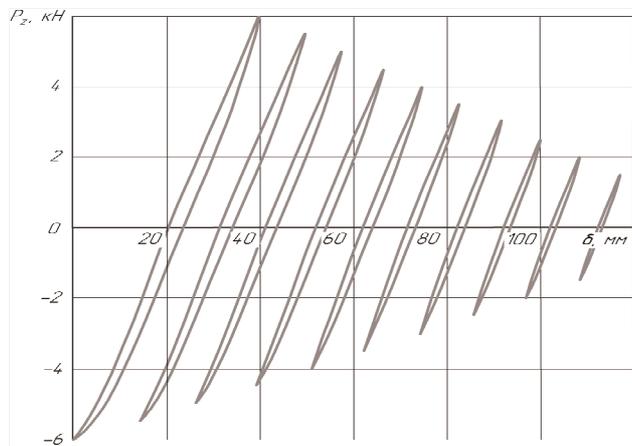


**Рис. 3.** Схема измерительно-информационной системы стенда: ДС – датчик сил; LPS-100S – датчик линейных перемещений; ЛА-20USB – аналогово-цифровой преобразователь; DN-10W – цифровой индикатор; ДКД – датчик контроля внутреннего давления воздуха в шине; ЭВМ – электронная вычислительная машина.

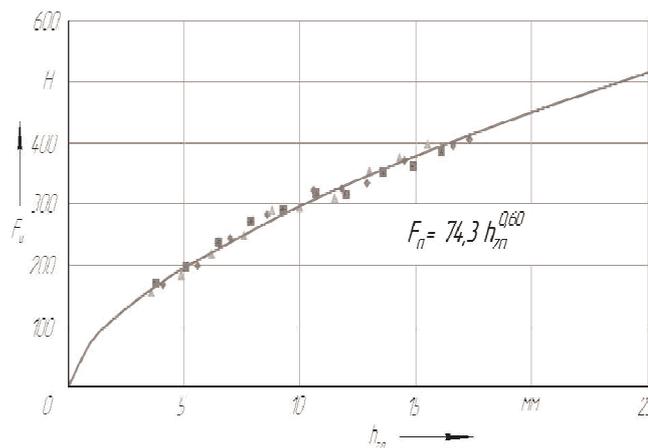
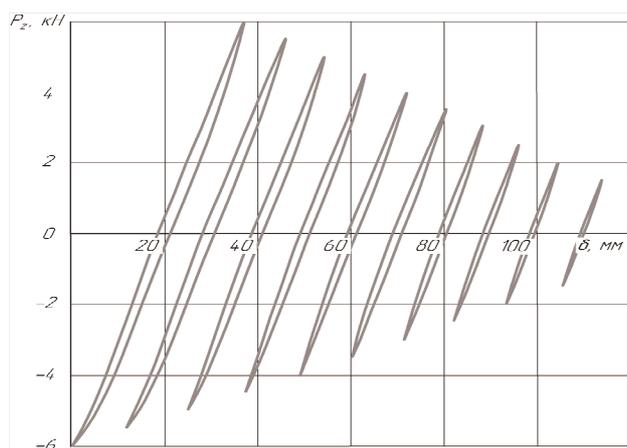
Принцип работы оборудования состоит в том, что при нулевой нормальной нагрузке дополнительная нагрузка также равна нулю за счет уравнивания устройств догружения (консоль 4 на рис. 1 и балласт в тросово-блочной системе 1 на рис. 2) специальными грузами. По мере возрастания нормальной нагрузки

испытываемая шина деформируется, колесная рама поворачивается вокруг шарнирного узла, а кинематически связанные с ней специальные грузы садятся на упругое основание, обеспечивая тем самым последовательное увеличение дополнительной нагрузки. Жесткость уп-

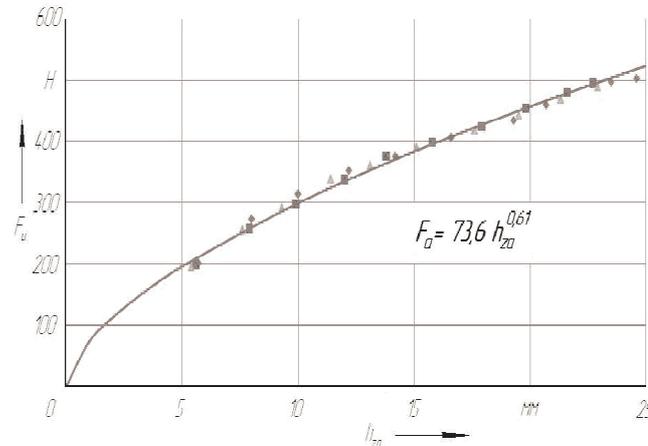
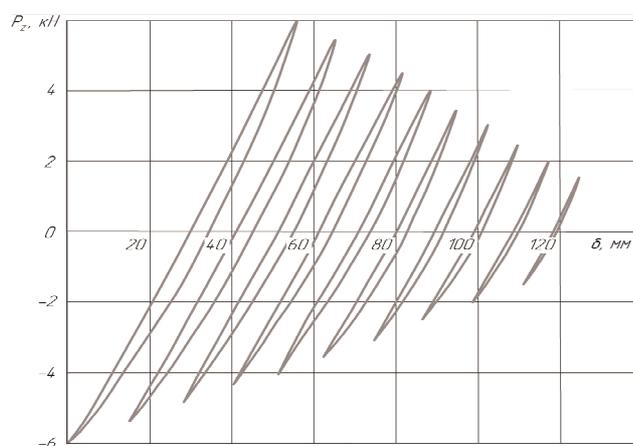
ругого основания определяется сцепными свойствами шины на заданной опорной поверхности, а масса специальных грузов – предельными значениями дополнительной нагрузки [5].



а)



б)



в)

**Рис. 4.** Диаграммы с экспериментальными характеристиками нормальной жесткости шины 8.40-15, модель Я-245, и результаты их обработки ( $P_{zn} = 5,95$  кН;  $p_{вн} = 0,20$  МПа): а – нагружение нормальной силой; б – нагружение нормальной и боковой силами; в – нагружение нормальной и продольной силами.

**Объекты и программа испытаний.** Для испытаний были отобраны шины легковых автомобилей среднего класса и малотоннажных грузовиков четырех типоразмеров с различной степенью износа. Программа испытаний предусматривала для каждой из отобранных шин построение характеристик нормальной жесткости в квазистатическом режиме нагружения колеса нормальной силой с одновременным догружением его продольной или боковой силами при варьировании внутреннего давления воздуха в шине. Причем, для каждого пункта программы строилось не менее десяти характеристик жесткости с изменением размахов нормальной нагрузки около номинального уровня от максимального ( $\pm P_{ZH}$ ) до минимального ( $\pm 0,1P_{ZH}$ ) значений с некоторым шагом. Это позволило обеспечить достаточный уровень статистической достоверности результатов. Параметры типоразмеров испытанных

шин и номинальные значения их нагруженности приведены в таблице.

**Результаты экспериментов.** Образцы диаграмм с экспериментальными характеристиками нормальной жесткости испытанных шин для различных режимов нагружения колеса и внутреннего давления воздуха представлены на рис. 4 (левая колонка), а результаты их обработки – на диаграммах справа, в виде зависимостей амплитудных значений силы неупругого сопротивления в шинах от их прогибов (графики и уравнения регрессии с численными значениями параметрами).

Результаты выполненных экспериментальных исследований отобранных шин четырех типоразмеров в обусловленных программой диапазонах изменения параметров нагружения сведены в таблицу для лучшего анализа.

Таблица 1

Размеры и модель шины	Параметры эксплуатационного состояния шины		Параметры неупругого сопротивления (поглощающей способности) в шине			
			Нагружение нормальной силой		Нагружение нормальной и боковой силами	
	$P_{ZH}$ кН	$p_{вн}$ МПа	$H_{ш},$ $H/мм^n$	$n$	$H_{ш},$ $H/мм^n$	$n$
1	2	3	4	5	6	7
205/70R14 М-217 (износ 55 %)	4,35	0,20	26,6	0,44	30,4	0,43
185/65R15 MP14	4,35	0,20	56,6	0,47	54,4	0,48
8.40-15 Я-245	5,95	0,20	74,8	0,61	74,3	0,60
7.35-14 ИД-195	4,35	0,17	71,8	0,50	72,5	0,51
Параметры неупругого сопротивления (поглощающей способности) в шине						
<i>Нагружение нормальной и продольной силами</i>			<i>Осредненные параметры с оценкой рассеивания</i>			
$H_{ш},$ $H/мм^n$	$n$	$H_{ш},$ $H/мм^n$	$\sigma_H, H/мм^n$	$n$	$\sigma_n$	
8	9	10	11	12	13	
28,1	0,43	28,4	1,91	0,43	0,01	
53,3	0,48	54,8	1,68	0,48	0,01	
73,6	0,61	74,2	0,60	0,61	0,01	
71,0	0,50	71,8	0,75	0,50	0,01	

**ПРИМЕЧАНИЯ.**  $P_{ZH}$  – номинальный уровень нормальной нагрузки;  $p_{вн}$  – номинальное давление воздуха в шине;  $H_{ш}, n$  – параметры эллиптическо-степенной модели;  $\sigma_H$  – среднеквадратическое отклонение параметра  $H_{ш}$ ;  $\sigma_n$  – среднеквадратическое отклонение параметра  $n$ .

#### Основные выводы.

1. Характеристики нормальной жесткости испытанных шин для всех режимов нагружения и значений внутреннего давления воздуха вполне удовлетворительно

описываются уравнением эллипса с большим эксцентриситетом; погрешность аппроксимации не превышает 5 %.

2. Дополнительное к нормальному нагружение шины продольной или боковой силой не выводит значения параметров эллиптическо-степенной модели из тех

пределов, которые были получены при одинарном нагружении нормальной силой. А влияние дополнительного нагружения на неупругое сопротивление (поглощающую способность) в шине проявляется аналогично влиянию внутреннего давления воздуха, т. е. изменением коэффициента жесткости шины.

Если догружение осуществляется продольной силой (тормозным или тяговым моментом), то жесткость шины снижается, следовательно, ее поглощающая способность возрастает. Если догружение осуществляется боковой силой, то жесткость шины возрастает, следовательно, поглощающая способность снижается.

3. Эллиптическо-степенная модель вполне адекватно отражает свойство пневматической шины поглощать и рассеивать часть энергии, передаваемой через нее при вертикальных колебаниях колеса, не только от нормальной нагрузки, но и при комплексном нагружении, т. е. когда на колесо дополнительно действует продольная или боковая сила. При этом параметры модели остаются константами не только с изменением внутреннего давления воздуха, температуры покрышки и уровня статической нагрузки, но и для различных режимов нагружения колеса.

#### Литература

1. Рыков С.П. Моделирование и оценка поглощающей и сглаживающей способности пневматических шин в расчетах подвески, плавности хода и поддрессирования автомобиля: моногр. Братск: БрГТУ, 2004. 124 с.

2. Рыков С.П. Методы моделирования и оценки поглощающей и сглаживающей способности пневматических шин в расчетах подвески и колебаний колесных машин: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М, 2005. 44 с.

3. Рыков С.П., Тарасюк В. Н. Способ построения характеристик радиальной упругости пневматической шины при комплексном нагружении колеса и устройство для его осуществления: пат. 2245535 Рос. Федерация. Бюл. № 3. 7 с.

4. Рыков С.П. Экспериментальные исследования поглощающей и сглаживающей способности пневматических шин: Испытательный комплекс, методики проведения экспериментов и обработки результатов: моногр. Братск: БрГТУ, 2004. 322 с.

5. Рыков С.П., Тарасюк В.Н. Методика и оборудование для экспериментальных исследований поглощающих свойств пневматических шин при комплексном нагружении колеса // Тр. Брат. гос. техн. ун-та. 2001. Т.2. С. 107–110.

#### References

1. Rykov S.P. Modeling and assessment of pneumatic tyres absorptive and smoothing ability while calculating a suspension, ride control and cushioning of a car: monogr. Bratsk: BrGTU, 2004. 124 s.

2. Rykov S.P. Methods of modeling and assessment of pneumatic tyres absorptive and smoothing ability while calculating a suspension and oscillations of a wheeled vehicle: avtoref. Dis. ... d-ra tekhn. nauk. M., 2005. 44 s.

3. Patent 2245535 RU, MPK7 G01M17/02. Method for developing the pneumatic tyres radial flexibility characteristics under the wheel complex lading and the device for its implementation /S.P.Rykov, V.N.Tarasjuk (RU). - Zayav. 30.06.2003; Opubl. 27.01.2005, Byul. № 3. 7 s.

4. Rykov S.P. Experimental researches into the pneumatic tyres absorptive and smoothing ability: the test system, the experiment and results analysis techniques: monogr. Bratsk: BrGTU, 2004. 322 s.

5. Rykov S.P., Tarasyuk V.N. The technique and equipment for the experimental researches into the pneumatic tyres absorptive ability under the wheel complex lading: Trudy Brat. gos. tekhn. un-ta: v 2 t. Bratsk: BrGTU, 2001. T.2. S. 107–110.

УДК 620.17

## Использование нелинейных вязких и пластических элементов в механореологической модели ударного процесса

В.Л. Лапшин<sup>1</sup>, А.В. Рудых<sup>1</sup>, А.В. Глухов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный технический университет, ул. Лермонтова 83, Иркутск, Россия. E-mail: lapshin@istu.irk.ru  
Статья поступила 10.03.2012, принята 16.09.2012

*Рассмотрена целесообразность применения нелинейных вязких и пластических элементов в механореологической модели, описывающей процесс ударного взаимодействия сферического тела с поверхностью. Для теоретического исследования процесса ударного взаимодействия сферического тела с поверхностью была разработана упруго-вязко-пластичная механореологическая модель. На базе математической модели была разработана специальная исследовательская программа. В результате проведения комплекса исследований были выявлены основные закономерности поведения упруго-вязко-пластичной модели. Исследовалось влияние упругих, вязких и пластических параметров модели на динамические параметры ударного процесса: продолжительность ударного взаимодействия модели, силу ударного взаимодействия модели, величину пластической деформации, высоту отскока модели от поверхности. Выполненные исследования позволили ответить на вопрос о целесообразности использования упруго-вязкой и упруго-пластической аналогии при расчете вязких и пластических сопротивлений модели, т.е. о целесообразности введения нелинейности в работу данных элементов модели. Результаты расчетов показали, что переход от линейной модели к нелинейной по диссипативным сопротивлениям деформации оказывает не существенное влияние на динамику ударного взаимодействия в рассматриваемом диапазоне варьирования значений факторов. Использование нелинейного пластического элемента оказывает существенное влияние на динамические параметры ударного процесса. Таким образом, дальнейшее совершенствование модели целесообразно осуществлять в направлении пластического параметра модели, нелинейность которого в существенной мере определяет динамику ударного взаимодействия.*

**Ключевые слова:** механореологическая модель, нелинейные вязкие и пластические сопротивления, ударное взаимодействие тел, математическое моделирование.