

ВЛИЯНИЕ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО БЛОКА МЕХАНОРЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА ВРЕМЯ УДАРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Рассматривается механореологическая модель процесса ударного взаимодействия сферического тела с плоской поверхностью, приводится математическое описание модели, анализируется влияние параметров упругопластического блока модели на время контактного взаимодействия.

Ключевые слова: механореологическая модель, упругопластический блок, сферическое тело, плоская поверхность.

Знание закономерностей процессов ударного взаимодействия систем необходимо при решении различных научно-исследовательских и практических задач. В Иркутском государственном техническом университете выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований процесса ударного взаимодействия сферического тела с плоской поверхностью и для углубленного изучения ударного процесса разработана упруговязкопластичная механореологическая модель [1, 2].

Модель имеет в своем составе дополнительный элемент сдвига, позволяющий учитывать пластические деформации, возникающие при контактном взаимодействии тел. Модель обеспечивает исследование основных закономерностей процесса ударного взаимодействия тел, а именно зависимость силы контактного взаимодействия, времени удара, высоты отскока сферического тела от физико-механических свойств материала (упругость, вязкость, пластичность), размера сферического тела, скорости удара.

Схема упруговязкопластичной механореологической модели приводится на рис. 1. Модель имеет в своем составе два последовательных блока: упруговязкий блок K_1-C и упругопластический блок K_2-f_2 . Блок K_1-C описывает упругие деформации системы и учитывает возникающие при этом потери энергии с помощью демпфера C . Он имеет нелинейный вязкий элемент C , сила сопротивления которого зависит от скорости и величины деформации.

Блок K_2-f_2 описывает пластические деформации и учитывает возникающие при этом потери энергии. Установка элемента сдвига f_2 параллельно с упругим элементом K_2 обеспечивает более полное и эффективное моделирование такого явления, как упрочнение материала, которое характеризуется ростом усилия с увеличением пластической деформации.

Масса сферического тела сосредоточена в инерционном элементе m_1 , масса же элемента m_2 ничтожно мала ($m_2 \rightarrow 0$) и не оказывает заметного влияния на динамику движения системы. Она введена для удобства математического описания системы с помощью двух дифференциальных уравнений второго порядка.

Все элементы модели имеют нелинейные характеристики, что расширяет возможности модели и обеспечивает проведение исследований, направленных на изучение влияния нелинейных характе-

ристик элементов модели на динамику ее ударного взаимодействия. Если говорить о конкретных значениях степенных показателей, то для упругой составляющей при ударном взаимодействии сферического тела их следует принимать $n_1 = n_2 = 3/2$, пластическую составляющую можно приближенно принимать пропорциональной действующей силе ($n_3 = 1$).

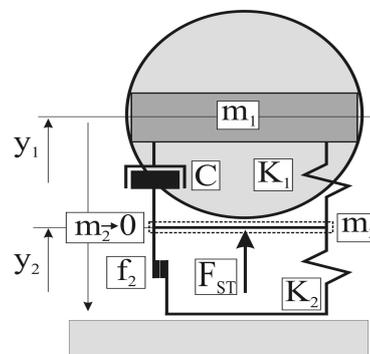


Рис. 1. Схема упруго-вязко-пластичной модели

Функционирование упруговязкопластичной модели осуществляется следующим образом. На начальном этапе ударного взаимодействия возникают только упругие деформации, поэтому подвергается деформации лишь упруговязкий блок. Дифференциальное уравнение движения модели на данном этапе имеет вид

$$m_1 \ddot{y}_1 + C_1(\dot{y}_1 - \dot{y}_2)^{a_1}(y_1 - y_2)^{a_2} + K_1(y_1 - y_2)^{n_1} = -m_1 g.$$

Упругопластический блок включается в работу, когда динамическое усилие достигает заданного значения F_{ST} , соответствующего интенсивному появлению в материале пластических деформаций. Дифференциальные уравнения движения модели на данном этапе имеют вид

$$m_1 \ddot{y}_1 + C_1(\dot{y}_1 - \dot{y}_2)^{a_1}(y_1 - y_2)^{a_2} + K_1(y_1 - y_2)^{n_1} = -m_1 g;$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + K_2 y_2^{n_2} + f_2 y_2^{n_3} + C_1(\dot{y}_2 - \dot{y}_1)^{a_1}(y_2 - y_1)^{a_2} + K_1(y_2 - y_1)^{n_1} = -m_2 g + F_{ST},$$

где $y_1, y_2, \dot{y}_1, \dot{y}_2$ – перемещение и скорость масс m_1 и m_2 ; K_1, K_2 – коэффициенты жесткости упругих элементов модели; C – коэффициент вязкости вязкого элемента модели; f_2 – коэффициент сдвига упругопластического блока модели; F_{ST} – усилие, соответствующее началу образования пластических деформаций.

* - автор, с которым следует вести переписку

Form1 **ОДНОМАССНАЯ УПРУГО-ВЯЗКО-ПЛАСТИЧНАЯ МОДЕЛЬ**

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ (десятичный знак - точка)

Шаг вычисления dt: 0.025
 Степень при K1: 1.5
 Степень при C1 (YT): 1
 Степень при C2 (Y): 0
 Степень при K2: 1.5
 Степень при f2: 1
 E1 (МПа): 200000
 μ_1 : 0.27
 μ_2 : 0.27

Расчет по формулам:
 Деформация γ_{max} (м): 9.25E-06
 Максимальная сила N (Н): 278.65
 Время удара (с): 3.54E-05

Выход из программы

Расчет

СТЕРЕТЬ

Масштабные коэф. YK: 0 YTK: 0 NK: 3

Расчет параметров удара

Количество шагов вычисления: 1777
 Время удара T_k (мкс): 44.43
 Время T (Nmax) (мкс): 26.30
 Ktmax (Ttmax/Tk): 0.59
 Время начала пл. деф. T (m) (мкс): 0.33
 Kpl (Tпл/Tk): 0.01
 Деформация γ_{max} (мм): 13.47
 Пл. деф. γ_{pl} (мм): 6.60
 $d\gamma = \gamma_{pl} / \gamma_{max}$: 0.49
 Максимальная сила N (Н): -178.74
 KF (Fst/Fmax): 0.06
 Относительный отскок dh=h2/h1: 0.44573

Высота отскока h2 (мм): 13.37203
 Время полета (с): 0.10443
 NR2: -1.79E+02
 YTT - ускорение: 51034.29

Скорость в момент удара (м/с): -0.7672
 Скорость в момент отрыва (м/с): 0.51221
 Масса m (г): 3.50

Упругий коэф. K1 (Н/м): 9.91E+09
 Упругий коэф. K2 (Н/м): 9.91E+09
 Вязкий коэф. C (Н*с/м): 1.18E+01
 Напряжения (МПа): 2612.67

Номер шага при γ_{max} : 1052
 Номер шага при N(max): 1052
 Сила N в момент падения (Н): 9.07
 Сила N в момент отрыва (Н): 0.05
 Время падения (с): 0.07821

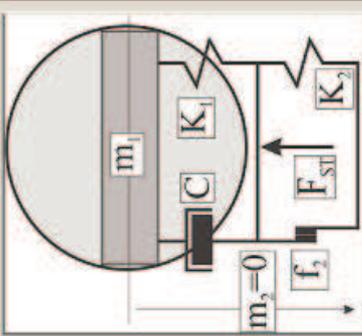
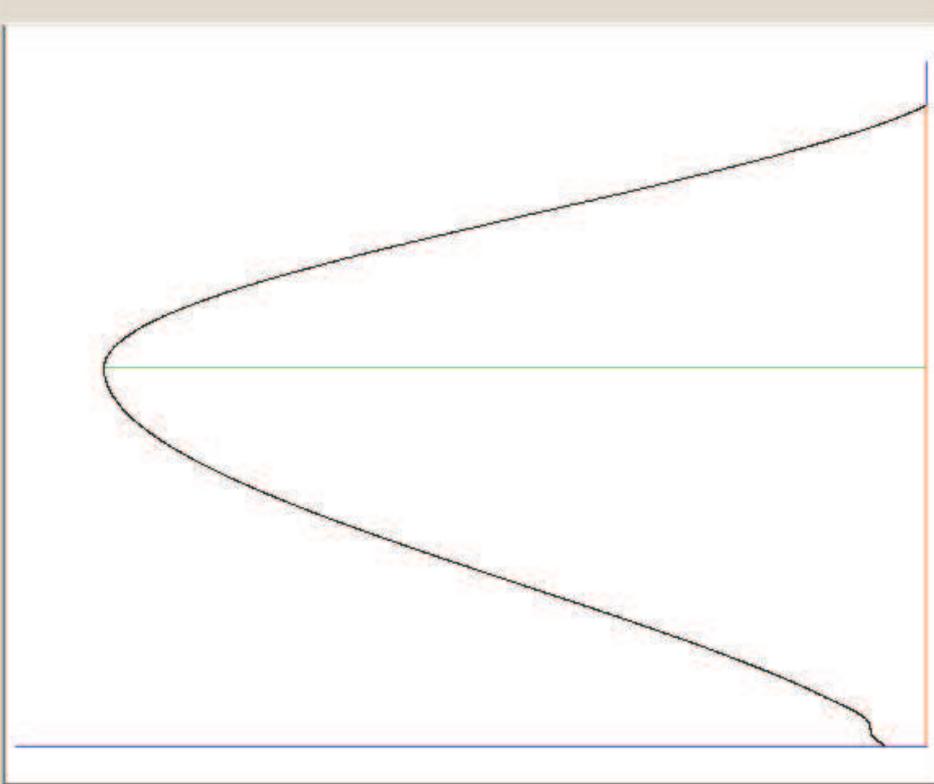



Рис. 2. Рабочее поле программы

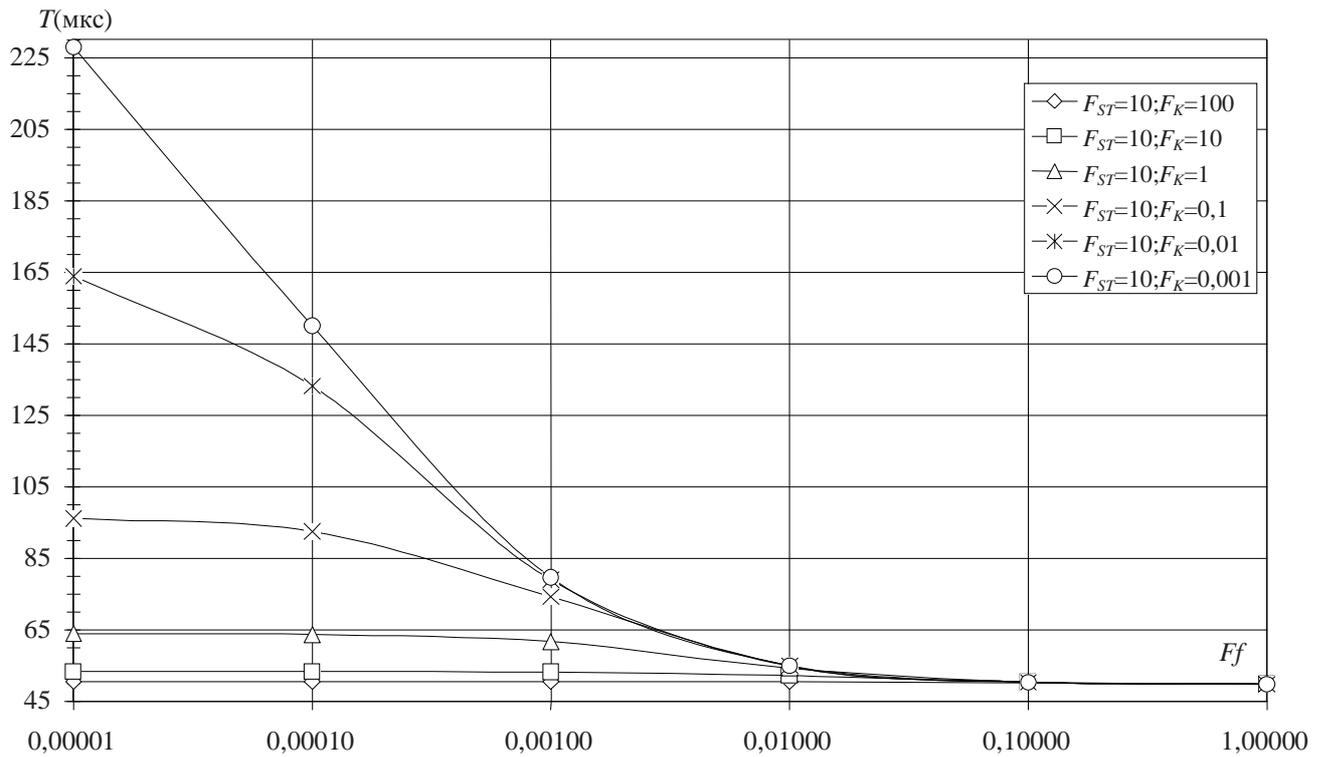


Рис. 3. Зависимость времени удара от параметров упругопластического блока модели при $E = 50\,000$ МПа

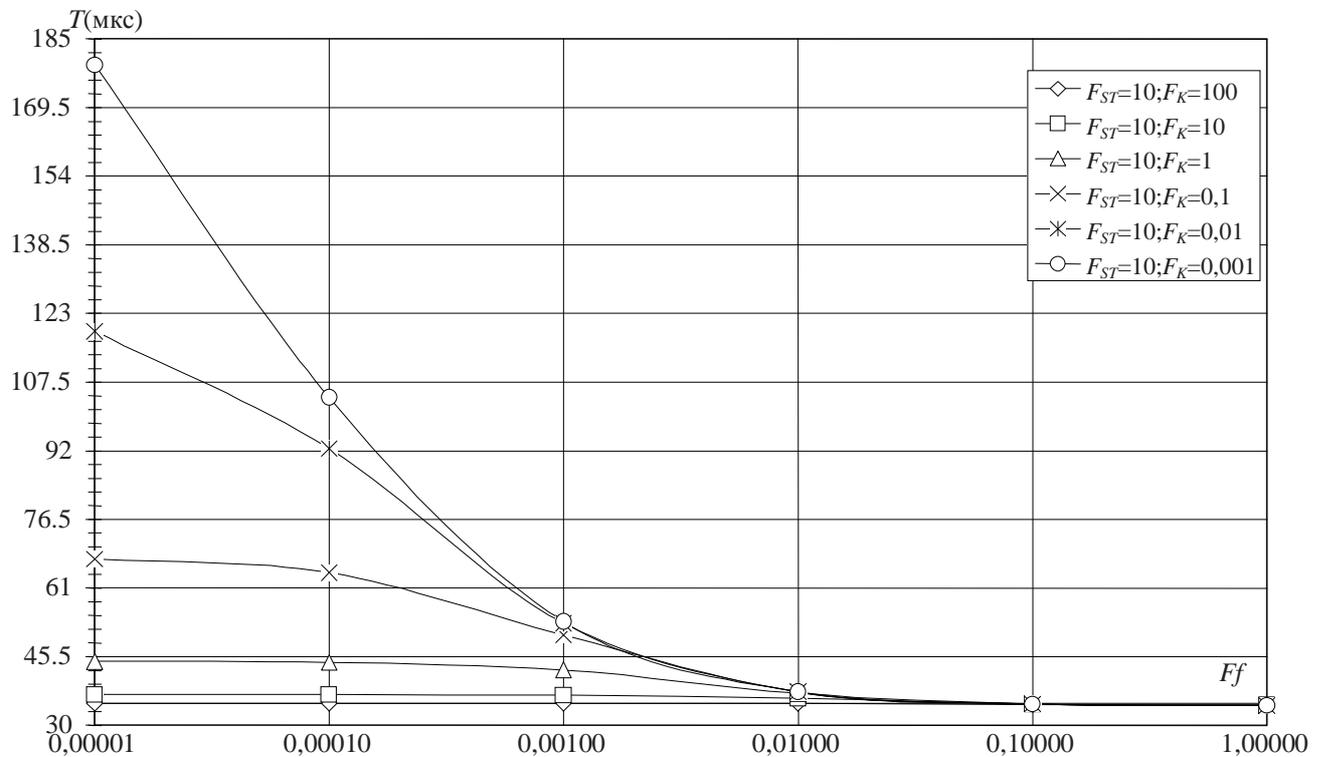


Рис. 4. Зависимость времени удара от параметров упругопластического блока модели при $E = 200\,000$ МПа

На этапе разгрузки модели в работу вступает только упруговязкий блок, описывающий исчезновение лишь упругих деформаций. Для решения дифференциальных уравнений движения математической модели использовался численный метод Рунге–Кутты.

В результате выполнения компьютерных экспериментов на разработанной модели с помощью созданной программы выявлены основные закономерности поведения упруговязкопластичной модели при ударном взаимодействии ее с опорной поверхностью. Исследовано влияние параметров упруго-пластического блока модели на время удара. В качестве параметров упруго-пластического блока модели рассматривались: коэффициент жесткости упругого элемента упругопластического блока; коэффициент сдвига упруго-пластического блока. Рабочее поле программы представлено на рис. 2.

В качестве примера на рис. 3, 4 приводятся результаты компьютерных экспериментов при следующих параметрах ударного процесса: сферическое стальное тело $R = 4,75$ мм и массой $m = 3,5$ г; высота падения $h = 30$ мм; коэффициент Пуассона $\mu = 0,27$; модуль Юнга опорной поверхности $E = (50000 \dots 200000)$ МПа; $F_{ST} = 10$ Н; $a_1 = 0$; $a_2 = 1$ (диссипативные сопротивления пропорциональны скорости деформации); $n_1 = n_2 = 3/2$ (для сферической контактной поверхности); $n_3 = 1$. Для удобства варьирования коэффициентами модели f_2 и K_2 , их значения задавались при помощи коэффициентов пропорциональности F_K и F_f : $F_K = K_2 / K_1$; $F_f = f_2 / K_1$.

В результате исследования установлено влияние различных факторов на время удара T . При увеличении коэффициента сдвига f_2 упруго-пластического блока модели время удара умень-

шается. При достижении величины $f_2 = 0,1K_1$ время ударного взаимодействия практически стабилизируется, причем с увеличением коэффициента жесткости упругого элемента K_2 упругопластического блока влияние параметра f_2 уменьшается. При достижении величины $F_K = 1$ ($K_1 = K_2$) влияние f_2 становится малосущественным. Увеличение K_2 , также как и $K_1 = f(E)$, приводит к уменьшению времени удара. Таким образом, диапазоны варьирования параметров упругопластического блока модели для рассмотренных условий можно ограничить следующими значениями: $F_K = 0,001 \dots 1$; $F_f = 0,00001 \dots 0,1$.

В ходе практического использования описываемой модели изучение ударного процесса проходит на более высоком качественном уровне. Полученные результаты позволят разрабатывать более эффективные ударные способы определения физико-механических свойств материалов.

Литература

1. Лапшин, В.Л. Упруговязкопластичная механо-реологическая модель для оценки упруговязких свойств минералов при моделировании процессов вибросепарации [Текст] / В.Л. Лапшин, Е.И. Демаков // Механика – XXI веку. VI Всероссийская науч.-техн. конф. с международным участием: сб. докладов. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2007. – С. 67–71. – Библиогр.: с. 71.
2. Лапшин, В.Л. Моделирование упругопластического взаимодействия сферического тела с плоской поверхностью при ударе [Текст] / В.Л. Лапшин, Е.И. Демаков // Материалы XI Международной науч. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева (6–10 нояб. 2007, г. Красноярск) / под общ. ред. И.В. Ковалева; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2007. – С. 240–241.