

Моделирование выталкивания изделия из трубы

Бойков В.Г.

© ООО «АвтоМеханика»

01.12.2018

В данной статье представлен демонстрационный пример моделирования выталкивания изделия из трубы в программном комплексе EULER. Учитываются изгибные упругости трубы и изделия. Приведены значения характеристик при выходе изделия в зависимости от степени детализации моделей трубы и изделия, а также других параметров модели.

Модель

Внешний вид модели представлен на рисунке 1. Труба и изделие разделены на секции одинаковой длины вдоль продольной оси. Секции соединены шарнирами и силовыми элементами, учитывающими изгибные упругости трубы и изделия. Изделие представляется цилиндром из однородного материала, оно центрируется в трубе двумя упругими поясками, установленными на его краях. Корневая часть трубы жестко скреплена с основанием, которое упруго скреплено с инерциальным звеном. Изделие выталкивается из трубы силой, которая действует как на само изделие, так и на корневую часть трубы (аналогично выталкиванию с помощью пороховых газов). Принято, что сила, выталкивающая изделие из трубы, имеет постоянное значение.

Файлы модели находятся в папке «Выталкивание_изделия_из_трубы». Модель включает следующие файлы:

- ST1_&subject-1.elr – модель упругого изделия с числом секций 2 и более;
- ST1_&subject-1-SOLID.elr – модель жесткого изделия;
- ST1_&tube-1.elr – модель трубы;
- ST1_&tube-2.elr, h_tube.tbl – модификация модели трубы с переменной толщиной стенки;
- ST1_EJECTION.elr – корневой проект модели выталкивания изделия из трубы.

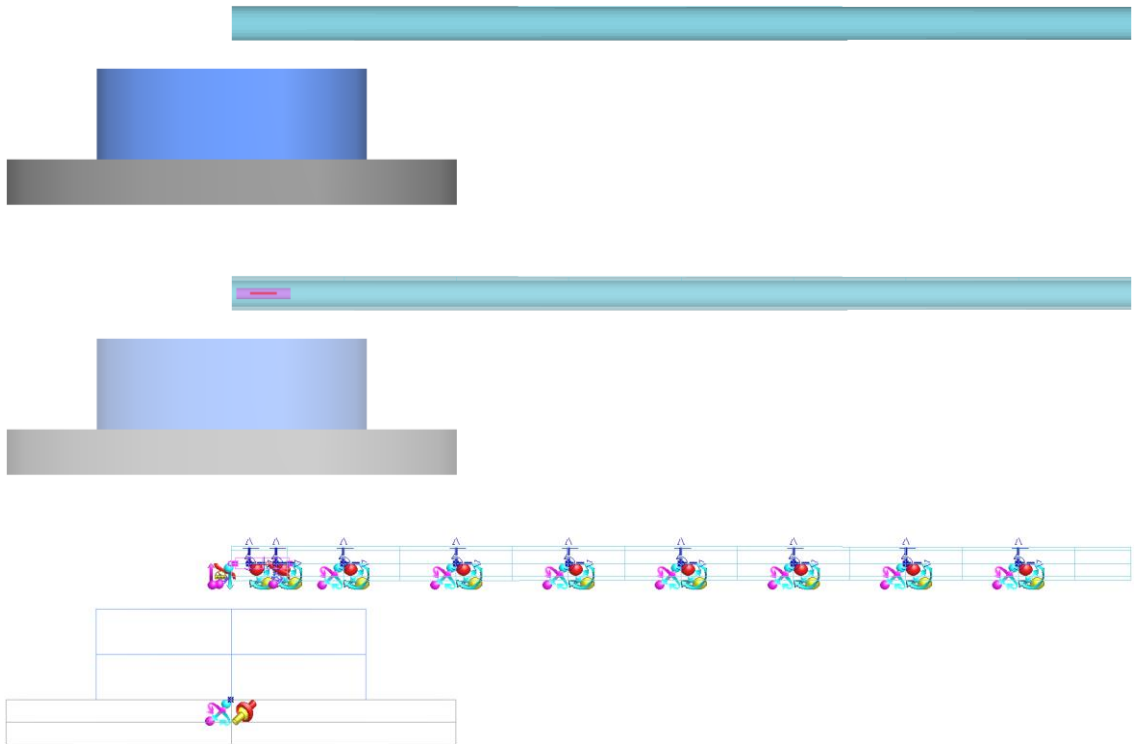


Рис. 1. Модель выталкивания изделия из трубы

Основные характеристики исследуемой системы

Внутренний диаметр трубы	57 [mm]
Толщина стенки корневой части трубы	9.5 [mm]
Толщина стенки концевой части трубы	7.5 [mm]
Длина трубы	2000 [mm]
Материал трубы	сталь
Масса трубы	27.3 [kg]
Частота первой формы свободных колебаний трубы	105 [Hz]
Диаметр изделия	25 [mm]
Длина изделия	120 [mm]
Материал изделия	сталь
Масса изделия	0.47 [kg]
Частота первой формы свободных колебаний изделия	7826 [Hz]
Скорость выхода изделия из трубы	1000 [m/s]
Масса основания	100 [kg]
Собственная частота колебаний основания с трубой	17.6 [Hz]

Шаг численного интегрирования

Приводимые ниже выводы относятся к использованию метода Рунге-Кутты 4-го порядка. Значение требуемого шага интегрирования зависит от следующих основных факторов:

- максимальная частота (или минимальный период) колебаний в системе;
- степень демпфирования колебаний в системе;
- размерность последовательной цепочки упруго соединенных звеньев;
- характеристики внешнего нагружения и внутренних сил в системе.

Значение шага интегрирования следует подбирать индивидуально для каждого типа расчетов. В то же время можно выделить некоторые типовые ситуации.

Для достоверного интегрирования простейших колебаний (например, груз на пружине) необходимо, чтобы шаг интегрирования был примерно в 16 раз меньше периода колебаний.

При интегрировании цепочки одинаковых упруго соединенных звеньев можно отметить следующие особенности:

- для коротких цепочек (до 4-8 тел) шаг интегрирования может быть в 4-6 раз меньше минимального периода колебаний;
- для длинных цепочек (более 4-8 тел) требуемый шаг интегрирования имеет тенденцию к уменьшению в квадратичной зависимости от числа тел и для цепочки длиной 50 тел может быть в 100-1000 раз меньше минимального периода колебаний.

Результаты моделирования

При моделировании выталкивания изделия из трубы определялись следующие характеристики:

- V_b – боковая скорость изделия при выходе из трубы (проекция скорости изделия на плоскость, перпендикулярную оси трубы);
- W_b – боковая угловая скорость изделия при выходе из трубы (проекция угловой скорости изделия на плоскость, перпендикулярную оси трубы).

В таблице 1 представлены полученные при моделировании характеристики выхода жесткого изделия из трубы в зависимости от числа секций, на которые разделяется труба.

В таблице 2 представлены полученные при моделировании характеристики выхода упругого изделия из трубы в зависимости от числа секций, на которые разделяется изделие. Представлены расчеты при разбиении трубы на 12 и 24 секции.

В таблице 3 представлены полученные при моделировании характеристики выхода изделия из трубы в зависимости от жесткости опорных поясков, которыми изделие центрируется в трубе. Его базовое значение, при котором проводились другие расчеты, равно 10000 [kgf/mm]. При этом было принято:

- число секций трубы 12;
- число секций изделия 4.

В таблице 4 представлены полученные при моделировании характеристики выхода изделия из трубы в зависимости от значения относительного коэффициента демпфирования трубы. Его базовое значение, при котором проводились другие расчеты, равно 0.001 [s]. При этом было принято:

- число секций трубы 12;
- число секций изделия 4.

В таблице 5 представлены полученные при моделировании характеристики выхода изделия из трубы в зависимости от значения относительного коэффициента демпфирования изделия. Его базовое значение, при котором проводились другие расчеты, равно 0.0001 [s]. При этом было принято:

- число секций трубы 12;
- число секций изделия 4.

Таблица 1. Жесткое изделие, характеристики выхода из трубы

Число секций трубы	Шаг интегрирования [s]	Vb [m/s]	Wb [rad/s]
1	2e-5	10.63	33.62
2	2e-5	2.478	12.12
3	2e-5	10.54	90.03
4	2e-5	4.708	28.30
6	2e-5	4.304	31.15
8	2e-5	3.978	28.94
12	2e-6	3.646	24.53
16	1e-6	3.528	23.95
24	2e-7	3.430	23.45
32	1e-7	3.400	23.57
48	5e-8	3.375	23.43

Таблица 2. Упругое изделие, характеристики выхода из трубы

Число секций изделия	Шаг интегрирования [s]	Vb [m/s]	Wb [rad/s]
Число секций трубы: 12			
1	2e-6	3.646	24.53
2	2e-6	5.279	25.75
3	2e-6	5.326	24.18
4	1e-6	5.395	22.59
6	2e-7	5.509	19.93
8	1e-7	5.585	18.26
Число секций трубы: 24			
1	2e-7	3.430	23.45
2	2e-7	4.949	24.17
3	2e-7	4.995	22.69
4	2e-7	5.061	21.17
6	2e-7	5.172	18.64
8	1e-7	5.245	17.06

Таблица 3. Влияние жесткости поясков на характеристики выхода изделия

Жесткость поясков [kgf/mm]	Шаг интегрирования [s]	Vb [m/s]	Wb [rad/s]
5000	1e-6	5.585	20.57
10000	1e-6	5.395	22.59
20000	1e-6	5.327	24.82
50000	1e-6	5.365	26.95
100000	1e-6	5.372	27.22

Таблица 4. Влияние демпфирования трубы на характеристики выхода изделия

Относительный коэффициент демпфирования трубы [s]	Логарифмический декремент первой свободной формы колебаний трубы []	Шаг интегрирования [s]	Vb [m/s]	Wb [rad/s]
0.001	2.0	1e-6	5.395	22.59
0.0005	1.0	1e-6	5.584	21.18
0.0002	0.4	1e-6	5.689	19.59
0.0001	0.2	1e-6	5.792	19.03
0.00005	0.1	1e-6	5.828	18.66
0.00002	0.04	1e-6	5.777	18.30
0.00001	0.02	1e-6	5.723	18.12

Таблица 5. Влияние демпфирования изделия на характеристики его выхода

Относительный коэффициент демпфирования изделия [s]	Логарифмический декремент первой свободной формы колебаний изделия []	Шаг интегрирования [s]	Vb [m/s]	Wb [rad/s]
0.0001	15.0	1e-6	5.395	22.59
0.00001	1.5	1e-6	5.515	31.74
0.000001	0.15	1e-6	5.724	26.14
0.0000001	0.015	1e-6	5.762	24.98