

УДК 621.454.2

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЖРД В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ MATLAB/SIMULINK**

Кузнецов А. В., Гимадиев А. Г.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Целью работы является составление полноразмерной математической модели ракетного двигателя (рис. 1), работающего на компонентах керосин - жидкий кислород по замкнутой схеме с окислительным газогенератором, и исследование его динамических характеристик по управляющему и возмущающему воздействиям. В процессе работы были составлены математические модели агрегатов двигателя, которые затем были реализованы в программном комплексе MatLab Simulink [1] и объединены в одну общую схему.

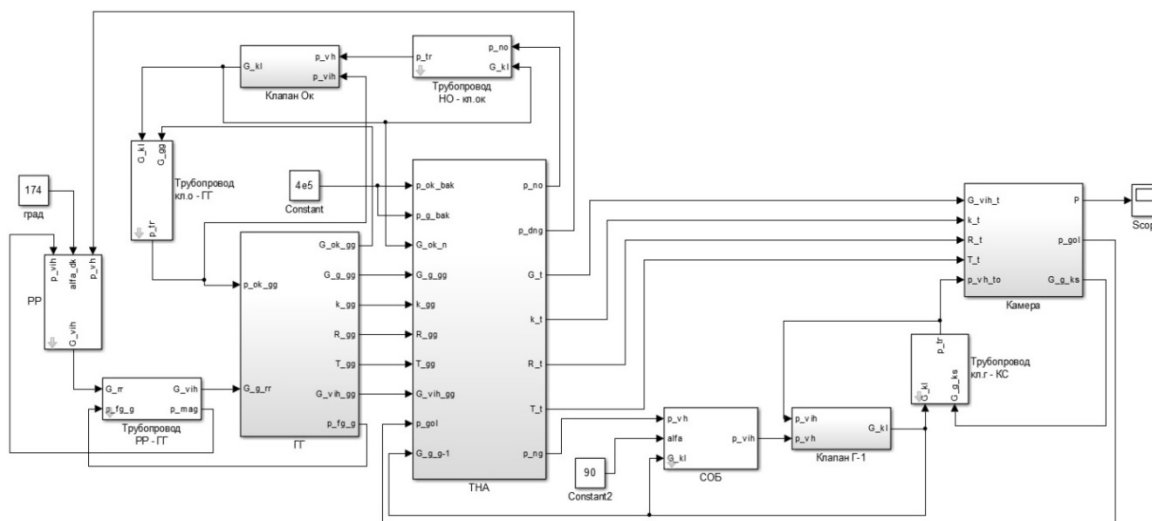


Рис. 1. Математическая модель двигателя в программном пакете MatLab/Simulink

Математическое моделирование начинается с составления расчётной схемы ЖРДУ, принятия определённых упрощающих допущений при выводе уравнений элементов. В моделировании ЖРДУ замкнутой схемы наиболее трудным и ответственным является составление нелинейных интегро-дифференциальных и алгебраических уравнений узлов двигателя.

После объединения моделей агрегатов в одну систему, отражающую двигатель целиком, были проведены расчёты, в результате которых были получены циклограмма запуска (рис. 2) и остановка двигателя (рис. 3), а также его частотные характеристики. Путём внесения управляющих возмущений в регулятор расхода [2] были построены амплитудно-фазовые частотные характеристики двигателя по управляющему воздействию. Управляющее воздействие заключалось в изменении угла поворота РУТ по синусоидальному закону с частотой от 0 до 30 Гц, амплитуда колебаний равна 10 градусам. Были проведены вычисления для разных диаметров жиклёра (0,5 мм, 1,0 мм, 1,5 мм) и исследованы его демпфирующие свойства. Также были получены амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики при задании возмущающего воздействия в виде колебаний давления на входе в насосы окислителя и горючего по синусоидальному закону с частотой от 0 до 30 Гц.

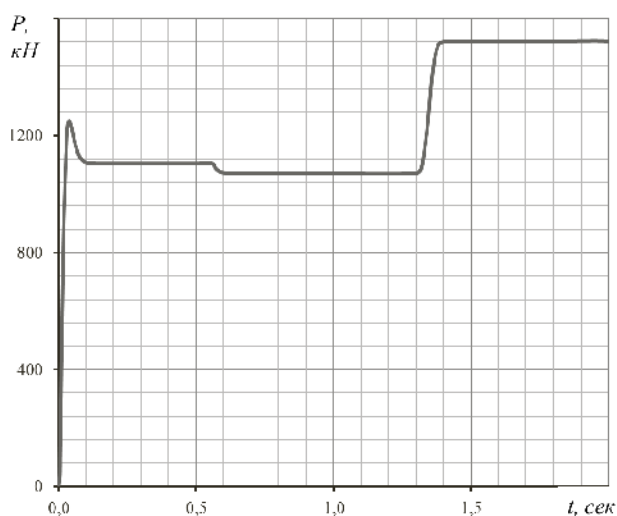


Рис. 2. Циклограмма запуска

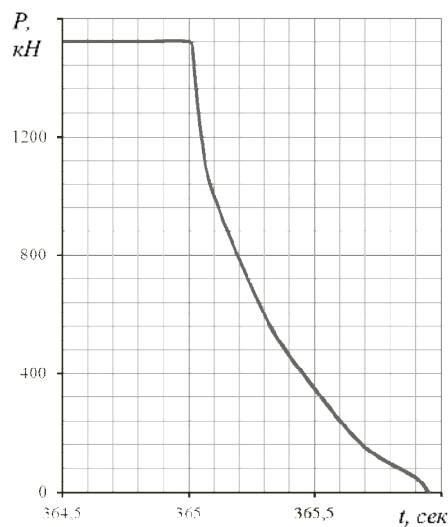


Рис. 3. Циклограмма останова

Целью изучения динамических свойств двигательной установки ЖРД как объекта регулирования является выявление характера изменения регулируемой величины во времени при воздействии на него со стороны регулятора или внешних возмущений, что важно при решении задач, например, обеспечения продольной устойчивости ракеты-носителя [3]. Составление математической модели двигателя позволяет снизить стоимость его производства за счёт уменьшения объёма испытаний и заменой их виртуальными испытаниями. Результатом виртуального моделирования являются как характеристики отдельных узлов и агрегатов, так и моделирование систем, включающих в себя несколько связанных агрегатов, вплоть до полной модели двигательной установки. После некоторых доработок математической модели можно моделировать процессы при отказе различных агрегатов ЖРД.

#### Библиографический список

1. SIMULINK: среда создания инженерных приложений [Текст] / Под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потёмкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.
2. Гимадиев, А. Г. Расчет регулятора расхода компонента топлива в газогенератор ЖРД [Текст] / А. Г. Гимадиев. – Самара: СГАУ, 2010. – 42 с.
3. Блоха, И. Д. Продольные колебания верхней ступени и проблема продольной устойчивости жидкостной ракеты-носителя [Текст] / И. Д. Блоха, А. Д. Николаев, Н. В. Хоряк, А. С. Белецкий // *Авиационно-космическая техника и технология*. – Днепропетровск. – 2007. – №7 (43). – С. 175-177.