

**МОДЕЛЬНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОГО  
СПАСЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОРАБЛЯ НОВОГО  
ПОКОЛЕНИЯ**

А.А. Прутько

Научный руководитель: к.ф.-м.н. А.В. Сумароков

ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва»

Россия, Московская область, г. Королёв, ул. Ленина, д. 4а, 141070

E-mail: [aleksej.pa@gmail.com](mailto:aleksej.pa@gmail.com)

**Введение.** Пилотируемый транспортный корабль нового поколения «Федерация» должен прийти на смену пилотируемым кораблям серии «Союз» и автоматическим грузовым кораблям серии «Прогресс». Одной из задач системы управления данного корабля является аварийное спасение экипажа на участке выведения и его посадка в заданном районе. Система аварийного спасения – бортовая система для спасения экипажа космического корабля в случае возникновения аварийной ситуации ракеты-носителя.

В состав системы аварийного спасения входят: система управления бортовым комплексом (СУБК), автоматика ракетного блока аварийного спасения (АРБАС) и твердотопливные двигатели: основной ракетный двигатель (ОРД), ракетный двигатель экстренного отделения (РДЭО), управляющий ракетный двигатель (УРД), тягу которого можно регулировать при помощи заслонки, управляемой электромеханическим приводом (ЭМП).

В данной работе описана модель системы аварийного спасения, которая используется для отработки бортового программного обеспечения. Работа модели демонстрируется с помощью результатов математического моделирования.

**Постановка задачи и цель работы.** Целью данной работы является разработка модельного программного обеспечения системы аварийного спасения перспективного транспортного корабля нового поколения. В состав данного программного обеспечения входят модели движения центра масс и вокруг центра масс, модели исполнительных органов, которыми служат твердотопливные двигатели, некоторые из которых имеют управляемый вектор тяги, модели окружающей среды и автоматики системы управления бортовым комплексом.

**Модель СУБК и АРБАС.** Модель АРБАС предназначена для выдачи управляющих команд на основной ракетный двигатель, ракетный двигатель экстренного отделения, управляющий ракетный двигатель, и команд на отстыковку РБАС от возвращаемого аппарата при реализации циклограммы экстренного спасения.

Модель АРБАС реализует работу автоматики ракетного блока экстренного спасения. В зависимости от выбранной программы аварийного спасения модель АРБАС реализует соответствующую циклограмму спасения.

**Модель ОРД, РДЭО и УРД.** Модели ОРД, РДЭО и УРД предназначены для вычисления значений векторов тяги и момента, создаваемых основным ракетным двигателем, ракетным двигателем экстренного отделения и управляющим ракетным двигателем РБАС. Также рассчитываются, приращения скорости центра масс от работы соответствующего двигателя и определяется суммарный расход топлива через все сопла описанных двигателей.

**Модель ЭМП.** Для регулировки тяги сопел УРД в каждом сопле установлен регулирующий элемент, позволяющий изменять площадь критического сечения сопла, таким образом можно создавать управляющий момент. Для поворота регулирующих элементов служит электромеханический привод, представляющий собой двигатель постоянного тока. Команды на повороты ЭМП поступают из системы управления через СУБК.

**Модель окружающей среды.** Модель аэродинамики реализует расчет аэродинамических сил и моментов сил, действующих на отделяемый головной блок. Кроме того, рассчитывается давление атмосферы для моделирования тяги ракетных двигателей РБАС. Давление атмосферы рассчитывается по уравнению состояния идеального газа. Вектор скорости ветра рассчитывается в зависимости от месяца запуска в начальной стартовой системе координат.

**Расчёт суммарных моментов и сил и массово-инерционных характеристик.** На выходе из моделей ракетных двигателей ОРД, РДЭО и УРД получаем суммарные силы тяги и суммарные моменты этих сил, действующие в центре масс отделяемого головного блока. К ним также добавляются гравитационные и аэродинамические составляющие.

$$\mathbf{M}_R = \mathbf{M}_{ОРД} + \mathbf{M}_{РДЭО} + \mathbf{M}_{УРД} + \mathbf{M}_{GRAV} + \mathbf{M}_{AERO}$$

Учитывается также и изменение массово-инерционных характеристик. Изменения задаются путем линейной интерполяции массово-инерционных характеристик для известных конфигураций отделяемого головного блока.

**Модель динамики.** Моделирование углового движения осуществляется путем совместного интегрирования уравнений Эйлера и кинематических уравнений в связанной системе координат. Движение центра масс отделяемого головного блока моделируется путем интегрирования системы уравнений в начальной стартовой системе координат с началом в центре Земли и осями [1], параллельным осям стартовой системы координат в начальный момент времени.

$$\begin{aligned} \dot{\vec{\omega}} &= I^{-1} \left( -[\vec{\omega} \times I \vec{\omega}] + \vec{M}_R \right) & \frac{d}{dt} \vec{R}_{nc} &= \vec{V}_{nc} \\ \dot{\theta} &= \frac{\sin \varphi \omega_y + \cos \varphi \omega_z}{\cos \psi} & \frac{d}{dt} \vec{V}_{nc} &= \frac{\vec{P} + \vec{F}_A}{m} + \vec{g} \\ \dot{\psi} &= \cos \varphi \omega_y - \sin \varphi \omega_z \\ \dot{\varphi} &= \omega_x + \operatorname{tg} \psi (\sin \varphi \omega_y + \cos \varphi \omega_z) \end{aligned}$$

где  $\vec{R}_{nc}$  — радиус-вектор центра масс ОГБ в НССК;  $\vec{V}_{nc}$  — вектор скорости ЦМ ОГБ в НССК;  $m$  — масса отделяемого головного блока;  $\vec{P}$  — результирующий вектор сил тяг ОРД, РДЭО и УРД;  $\vec{F}_A$  — вектор аэродинамических сил;  $\vec{g}$  — вектор гравитационного ускорения в НССК.

Уравнения движения интегрируются методом Рунге-Кутты 4 порядка [2] на каждом такте моделирования. Полученные угловые скорости и координаты передаются в модели инерционных датчиков: датчиков угловой скорости и акселерометров. Модели данных датчиков формируют непосредственно измерительные сигналы, поступающие в систему управления ПТК.

**Заключение.** В данной работе была описана модель системы аварийного спасения, которая используется для отработки бортового программного обеспечения. Были описаны следующие модели: система управления бортовым комплексом, автоматика ракетного блока аварийного спасения, основной ракетный двигатель, ракетный двигатель экстренного отделения, электромеханический привод, управляющий ракетный двигатель, модель динамики движения центра масс отделяемого головного блока и вокруг центра масс, модель окружающей среды. Было проведено моделирование стабилизации движения отделяемого головного блока.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Раушенбах Б. В., Токарь Е. Н. Управление ориентацией космических аппаратов // Москва, «Наука», 1974.
2. Косарев В.И. 12 Лекций по вычислительной математике (вводный курс): Учеб. Пособие: Для вузов. Изд. 2-е, испр. И доп. – М.: Изд-во МФТИ, 2000.– 224 с.