

0.1. Богданюк Д.О. Модельное представление разделяющихся элементов

Существуют различные системы, в которых используется разделение из одного элемента во множество. Служит разделение для различных целей, которые улучшают характеристики, упрощают запуск единого элемента, но усложняют конструкцию самой системы.

При реализации обеспечения требуемой корректной работы системы возникают сложные газо- и аэродинамические задачи. Главная проблема в спроектированном требуемом выбрасывании различных элементов в сложный газодинамический поток и дальнейшее распределение, а так же возможное управление.

Ещё большую сложность добавляет возможность применения аэродинамических систем на выбрасываемых элементах [1]. В том числе возможная установка двигательной установки на разлетающихся элементах. Конструкция носителя элементов может представлять различную форму, в том числе, так же разный вариант двигательной установки. Способ выброса элементов и крышек добавляют вычислительных задач. Например, крышка в определённых условиях может повредить корпус носителя. В том числе, как и выбрасываемые элементы против потока, или поперёк потока. Донное извлечение представляет благоприятную ситуацию для носителя, но может иметь более сложное аэродинамическое обтекание.

Имеются проблемы, связанные с конструкторскими особенностями элементов. Для увеличения дальности полёта системы используют, например, на носителе прямоточный реактивный двигатель. Носовая часть носителя конструируется так, чтобы возникли требуемые косые скачки, для максимально эффективной работы системы. В том числе, последствия сгорания топлива образуют полости внутри носителя, в которые затекает газ, вносятся некоторые газодинамические явления [5].

В момент извлечения элементов возникает сложное трёхмерное обтекание элементов. Начальное обтекание и движение в момент выброса элементов является кругом газодинамических задач, которые необходимо правильно поставить, и решение которых выполнит требуемую оптимальную задачу по грамотному использованию и улучшению системы. Дополнительной задачей служит дальнейшая стабилизация элементов в потоке или возможное управление.

Круг задач решается совокупно, с газодинамической точки зрения. Используются программные средства для решения требуемых задач. Для описания движения в потоке используются современные вычислительные технологии, включающие в себя шести-степенные решатели и сопутствующее построение сеток.

Модель баллистического проектирования системы

разделяющихся элементов будем считать следующим образом. Для построения математической модели систему носителя будем представлять симметричным телом вращения динамически и статически стабилизированным, при этом стабилизированное вращением или оперением. Требуется учёт комбинированной системы энергосиловых установок, включающий встроенный маршевый ракетный прямоточный двигатель (РПД) и двигатель на твердом (РДТТ) или пастообразном топливе (РДПТ). Соответственно на различных этапах функционирования изделия уравнения движения можно рассматривать как РПД или как РДТТ, но отличие только в способе расчёта реактивной силы. Расчёт реактивной силы для РДТТ носит частный характер расчёта для РПД. Поэтому математическая модель движения тела переменной массы по баллистической траектории строится для РПД.

Реактивная сила не зависит от угла нутации [2], что будем предполагать в дополнение к допущениям основной задачи внешней баллистики. Далее представлено уравнение движения центра масс снаряда с РПД как уравнение движения центра масс системы переменного состава с твердой оболочкой, пренебрегая Кориолисовыми силами инерции, вариационными силами и силами, обусловленными относительным движением центра масс снаряда. Полагая стартовую систему отсчёта, связанную с землей, инерциальной. Уравнение движения центра масс снаряда с РПД [3, 4] согласно всему перечисленному примет вид формулы 1.

$$mW_c = R + F. \quad (1)$$

Где компоненты в формуле 1 имеют вид в формулах 2 и 3

$$R = [(G_B + G_T)u_S - G_B V + (P_S - P_H)F_S]V^0; \quad (2)$$

$$F = -mgy^0 - \frac{1}{2}C_x(M)\rho S V \cdot V; \quad (3)$$

где в формуле 2 компонентами являются R – сила тяги РПД; G_B – расход воздуха на входе в диффузор; G_T – расход продуктов сгорания заряда твёрдого топлива, поступающих в КСД РПД; u_S – скорость газа в выходном сечении сопла относительно корпуса изделия; V – скорость центра масс изделия; P_S – давление в выходном сечении сопла; P_H – атмосферное давление на текущей высоте; F_S – площадь выходного сечения сопла; V^0 – орт, сонаправленный с вектором V скорости центра изделия; так же где в формуле 3 компонентами являются F – главный вектор внешних сил, включающий силу тяжести и силу лобового сопротивления изделия; g – ускорение силы тяжести; y^0 – орт вертикальной оси стартовой системы координат; C_x – коэффициент лобового сопротивления изделия, как функция

числа Маха M ; ρ – плотность воздуха на текущей высоте; S – площадь мидела изделия;

$$G_B = \rho V F_d; \quad (4)$$

где в формуле 4 компонентами являются F_d – площадь входного сечения диффузора. В частном случае работы только РДТТ забор воздуха через диффузор отсутствует и $G_B = 0$.

Текущая масса снаряда с РПД определится из уравнения изменения массы снаряда, записанного при условии, что процесс течения рабочего тела в полости РПД носит квазистационарный характер, представлена в формуле 5

$$\dot{m} = -G_T. \quad (5)$$

Реализации траекторных расчетов снарядов со встроенными РПД и/или РДТТ были выполнены профессором Кэртом Борисом Эвальдовичем в пакете прикладных программ «МАТМЕХ» [1, 5]

В обобщении всего вышеизложенного моей основной задачей является аэробаллистика, непосредственно связанная с вышеописанными процессами, вылета разделяющихся элементов и их дальнейшее взаимодействие. Основной целью является обеспечения заданных характеристик изделия. Так же возможность прогнозирования в случае специального или случайного отклонения момента выхода элементов. Непосредственное взаимодействие струи и потока с разделяющимися элементами. Построена модель типичного изделия современными графическими и вычислительными технологиями, произведён расчёт вылета одного элемента из изделия, включающие в себя шести-степенные решатели и сопутствующее перестроение сеток.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 21-19-00657), <https://rscf.ru/project/21-19-00657/>.

Список литературы

- [1] Кэрт, Б. Э. Математическое моделирование и экспериментальная отработка систем разделения реактивных снарядов в 2 ч. Часть 1 : учебное пособие для вузов / Б. Э. Кэрт, В. И. Козлов, Н. А. Макаровец ; под редакцией Н. А. Макаровца. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 240 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-06476-6.
- [2] Дмитриевский А.А. Внешняя баллистика: Учебник для студентов Вузов / А.А. Дмитриевский, Л.И. Лысенко. Изд. 4-е, перераб. и доп. — М.: Изд-во Машиностроение. 2005. 608 с.
- [3] Ракетно-прямоточные двигатели на твёрдых и пастообразных топливах / В.А. Сорокин [и др.]. — М.: Изд-во ФИЗМАТЛИТ. 2010. 320 с.
- [4] Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. В 2 ч.: Учеб. руководство: Для вузов / Г.Н. Абрамович. — Изд. 5-е, перераб. и доп. — М.: Наука. 1991. Ч. 1. 600 с.

- [5] Кэрт Б.Э. Разделение неуправляемых снарядов систем залпового огня / РАРАН; Б.Э. Кэрт, В.И. Козлов, Н.А. Макаровец; под ред. Н.А. Макаровца. — М.: Машиностроение. 2008. 438 с. ил.