

0.1. Прокопенко Е.А., Дема И.А., Лизан В.М. Методика расчёта термодинамических параметров гиперзвукового потока воздуха вокруг спускаемого аппарата с учётом уравнений химической кинетики

При проектировании спускаемых аппаратов (СА) на планеты, обладающие собственной атмосферой (определённого состава), необходимо учитывать, что при входе в слои атмосферы вокруг этих СА образуется плазменное облако, так как скорости входа имеют порядок первой космической скорости и более. В том числе это и относится к планете Земля, в случае возвращения космонавтов на космическом корабле. Исследование физико-химических процессов, происходящих в плазменном слое вокруг СА, позволит на этапе его проектирования решить ряд прикладных задач, связанных с влиянием нагрева его поверхности, уносом абляционного слоя и функционированием его ботовых систем. Разработанная методика предназначена для расчёта молярных концентраций компонентов гиперзвукового потока воздуха в зависимости от давления и температуры в невозмущённом потоке в условиях локального химического равновесия на основе 11-ти компонентного состава плазмы [1]. В методике учитываются следующие физико-химические процессы в потоке: диссоциация и ионизация выбранных компонентов воздуха, реакция образования NO и его ионизация, а также образование свободных электронов. Так как состав плазмы определяется на основе одиннадцати ее компонент, то в итоге, необходимо решение системы 11 нелинейных алгебраических уравнений, для которой выбран метод Ньютона. Внутри метода Ньютона используется алгоритм для расчёта систем линейных уравнений на основе адаптивного метода Гаусса для условий, при которых элементы матрицы Якоби имеют нулевые значения. Термодинамические функции воздуха задаются в зависимости от условий либо в виде аналитических выражений [2], либо в виде аппроксимационных зависимостей, полученных эмпирическим путем [3] для температур от 200 К до 20000 К. На основе полученных термодинамических функций воздуха происходит расчет констант скоростей равновесных химических реакций. Разработанная методика была доведена до программной реализации в виде отдельного расчетного модуля, написанного в среде Qt5 на языке программирования C++ [4]. Графический интерфейс программного модуля позволяет задавать значения состава и параметров воздуха, начальных приближений, абсолютной погрешности и количества итераций расчета, что позволяет проводить математическое моделирование равновесного состава плазмы в зависимости от условий в гиперзвуковом потоке вокруг СА. **Список литературы**

- [1] Бабенко К.И., Воскресенский Г.П., Любимов А.Н. и др. Пространственное обтекание гладких тел идеальным газом / М.: НАУКА, 1964. 505 с.
- [2] Крайко А.Н., Макаров В.Е. Явные аналитические формулы, определяющие состав и термодинамические функции воздуха для температур от 200 до 20000 К // Теплофизика высоких температур. 1996. Т. 34. №. 2. С. 208–219.
- [3] Физическая газодинамика, теплообмен и термодинамика газов высоких температур / Под ред. А.С. Предводителя. М.: АН СССР, 1962. 310 с.
- [4] Прокопенко Е. А. Программное обеспечение для расчёта параметров гиперзвукового потока воздуха с учётом уравнений химической кинетики (свидетельство на программу для ЭВМ № 2019610150) / М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 2019.