В последнее время особое значение приобретает разработка гиперзвуковых летательных аппаратов. Использование программных комплексов для расчета характеристик ГЛА, может повысить эффективность и сократить время необходимое для разработки перспективных ГЛА. Однако, в связи с тем что в ударном слое около гиперзвукового ЛА протекает множество неравновесных физико-химических процессов и кроме того необходимо учитывать унос массы с поверхности ЛА, моделирование течения термо-химически неравновесной многокомпонентной смеси газов требует значительных вычислительных ресурсов. Данная работа предполагает создание прикладного программного комплекса (ППК) и проведение обеспечивающих экспериментальных исследований для комплексного моделирования условий движения спускаемых гиперзвуковых летательных аппаратов в атмосфере, учитывающих изменение формы поверхности ГЛА вследствие разрушения теплозащитного покрытия.

На втором этапе разработана физико-математическая модель радиационного излучения плазмы в ударно сжатом слое. На основе разработанной модели в следующем этапе будет создан и валидирован программный компонент ППК, моделирующий интенсивный радиационный теплообмен на поверхности ГЛА. В частности представлены методы расчета термодинамических свойств и состава горячего газа (плазмы), образующегося в ударном слое, характеристик элементарных радиационных процессов, интегральных оптических свойств, а также экономичные способы решения уравнения переноса излучения.

В соответствии с разработанной в предыдущем этапе ЭСКД изготовлены и проверены экспериментальные образцы датчиков на основе эффекта Холла для измерения концентрации электронов в условиях, моделирующих параметры спуска по энтальпии.

По разработанной в первом этапе по п. 1.9 ПГ Программе и методикам экспериментальных исследований процесса разрушения образцов ТЗП в потоке химически неактивной плазмы, проведены экспериментальные исследования. В результате получены данные для верификации предварительной версии программного компонента ППК. Результаты отражены в протоколах.

Проведена верификации и валидация предварительной версии КППК. При этом проведено моделирование 10 различных задач. Произведена проверка

- генератора начальной сетки,

- алгоритма динамической адаптации сетки,

- алгоритма распределения вычислений по процессорам,

- метода численного интегрирования уравнений в частных производных, описывающих законы сохранения массы, импульса и энергии для сжимаемого газа,

- алгоритмов, реализующих различные граничные условия.

Также по разработанной в первом этапе по п. 1.11 ПГ Программе и методикам вычислительного эксперимента по моделированию процесса разрушения образцов ТЗП в потоке химически неактивной плазмы, проведен вычислительный эксперимент, и выполнено сравнение полученных результатов с данными экспериментальных исследований выполненных по п.2.3 ПГ.

Полученные численные результаты хорошо согласуются с экспериментальными и теоретическими данными, что позволяет сделать вывод об успешной верификации и валидации предварительной версии программного компонента ППК, моделирующего гиперзвуковой обтекающий поток с учетом химических реакций на поверхности ГЛА и изменения формы поверхности ГЛА, вызванного разрушением ТЗП.

Данные работы выполняются при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках ФЦП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы" по соглашению № 14.604.21.0090 от 8 июля 2014 г. идентификатор проекта: RFMEFI60414X0090.