**КОЛЕБАТЕЛЬНО-ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА КИСЛОРОДА ЗА ОТРАЖЕННОЙ УДАРНОЙ ВОЛНОЙ**

**Д.С. Кравченко, Е.В. Кустова**

***Санк-Петербугский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Россия***

Одна из проблем современных аэрокосмических приложений связана с тепловыми нагрузками, испытываемыми обтекаемым аппаратом от нагретого головной ударной волной воздуха. Такие высокоэнтальпийные потоки находятся в сильно неравновесном состоянии, которое необходимо уметь моделировать. Из-за низкой характеристической колебательной температуры и энергии связи молекул кислорода по сравнению с соответствующими параметрами молекул азота процессы колебательной релаксации и диссоциации в первую очередь начинаются в О2, что делает критически важным моделирование высокотемпературных течений кислорода.

Данное исследование посвящено моделированию течения кислорода за ударной волной (УВ) в рамках поуровневого подхода [1], при этом отличие от предыдущих работ [2,3] состоит в моделировании не только прямой, но и отраженной УВ. Рассмотрены условия эксперимента [4]. Целью работы является сравнение с экспериментальными данными, валидация моделей кинетики и выбор модели, обеспечивающей лучшее согласие с экспериментом. Еще одной задачей является выявление причин расхождения расчетных и измеренных значений колебательной температуры кислорода.

Эксперименты с отраженными ударными волнами позволяют достичь более высоких температур газа и исследовать связанные процессы колебательной релаксации и диссоциации. Теоретическое описание таких течений имеет некоторые особенности, поскольку отраженная волна проходит через уже нагретый прямой УВ неравновесный газ, в котором не завершились процессы релаксации. Следует отметить, что авторами эксперимента [4] при пересчете параметров газа из спектроскопических данных о поглощении было использовано предположение о том, что колебательная кинетика и химические процессы за прямой УВ полностью заморожены. В данной работе такое предположение не используется. Сначала мы моделируем течение за прямой ударной волной в течение промежутка времени между прохождением прямой и отраженной УВ с учетом колебательно-химической кинетики. Затем проводим пересчет параметров за отраженной УВ и выполняем моделирование основной задачи релаксации. При этом за начальное распределение молекул по колебательным уровням для расчета отраженной УВ берется смоделированное распределение после прямой УВ. Учет релаксации между прямой и отраженной волной помог добиться хорошего совпадения с экспериментальными значениями давления и концентрации молекул кислорода. Общий вид профиля колебательной температуры *Tv* также оказался довольно близок к экспериментальному, однако наблюдается заметное различие в начальном значении *Tv* за отраженной УВ.

Данное противоречие можно объяснить тем, что авторы эксперимента [4] использовали моделирование для обработки данных о поглощении, которое в целом очень хорошо описывало реальные данные. Однако в начальный момент реальные данные о поглощении указывают на то, что колебательная температура в действительности больше, чем смоделированная. Этот аспект подчеркивает важную роль процессов релаксации после прямой УВ. В дальнейшем планируется создать собственную методику пересчета колебательной температуры из необработанных экспериментальных данных о поглощении, а также добавить в рассмотрение смеси кислорода и аргона, чтобы иметь возможность провести валидацию моделей и для этих случаев.

Исследование выполнено при поддержке РНФ, проект 22-11-00078.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Нагнибеда Е.А., Кустова Е.В.** Кинетическая теория процессов переноса и релаксации в потоках неравновесных реагирующих газов. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2003.
2. **Campoli L., Kunova O., Kustova E., Melnik M.** Models validation and code profiling in state-to-state simulations of shock heated air flows // Acta Astronautica 2020. Vol. 175. P. 493--509. \\ <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2020.06.008>
3. **Кунова О.В., Кустова Е.В., Мельник М.Ю., Савельев А.С.** Валидация моделей поуровневой кинетики кислорода за фронтом ударной волны // Физико-химическая кинетика в газовой динамике 2018. Т. 19. Вып. 3. <http://doi.org/10.33257/PhChGD.19.3.765>
4. **Streicher J.W., Krish A., Hanson R.K.** Coupled vibration-dissociation time-histories and rate measurements in shock-heated, nondilute O2 and O2–Ar mixtures from 6000 to 14000 K // Phys. Fluids. 2021. Vol. 33. Art. no. 056107. <https://doi.org/10.1063/5.0048059>