

03

Пульсации положения головного скачка уплотнения в результате сильного МГД-взаимодействия при гиперзвуковом обтекании пластины

© В.П. Фомичев, М.А. Ядренкин

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича
СО РАН, Новосибирск
E-mail: fomichev@itam.nsc.ru, yadrenkin@itam.nsc.ru

Поступило в Редакцию 26 июня 2012 г.

В работе [1] было показано, что в результате сильного магнитодинамического (МГД) взаимодействия на пластине в гиперзвуковом потоке при $M = 6$ происходит трансформация косоугольного присоединенного скачка уплотнения в отошедший прямой скачок по мере увеличения индукции магнитного поля. В данной работе рассмотрен режим обтекания пластины, который интересен появлением пульсаций положения головного скачка, при величине параметра гидромагнитного взаимодействия $S \geq 0.2$.

Движение возвращаемых орбитальных аппаратов в верхних слоях атмосферы происходит в условиях, когда использование средств механизации для увеличения лобового сопротивления не эффективно. При решении задач оптимизации торможения летательных аппаратов в верхних слоях атмосферы большое внимание уделяют магнито-плазменным методам воздействия на воздушный поток. В работе [2] рассмотрена концепция МГД-парашюта, главная идея которой состоит в том, чтобы снизить скорость спускаемого аппарата в верхних слоях атмосферы, используя МГД-торможение, когда газодинамическое торможение неэффективно, до величин, обеспечивающих достаточно низкий уровень тепловых нагрузок при торможении в более плотных слоях атмосферы. На рис. 1, а представлена принципиальная схема постановки задачи из работы [2]. МГД-торможение происходило столь интенсивно, что присоединенный косой скачок уплотнения трансформировался в отошедший прямой. При этом расширение области МГД-взаимодействия приводило к значительному увеличению эффективных

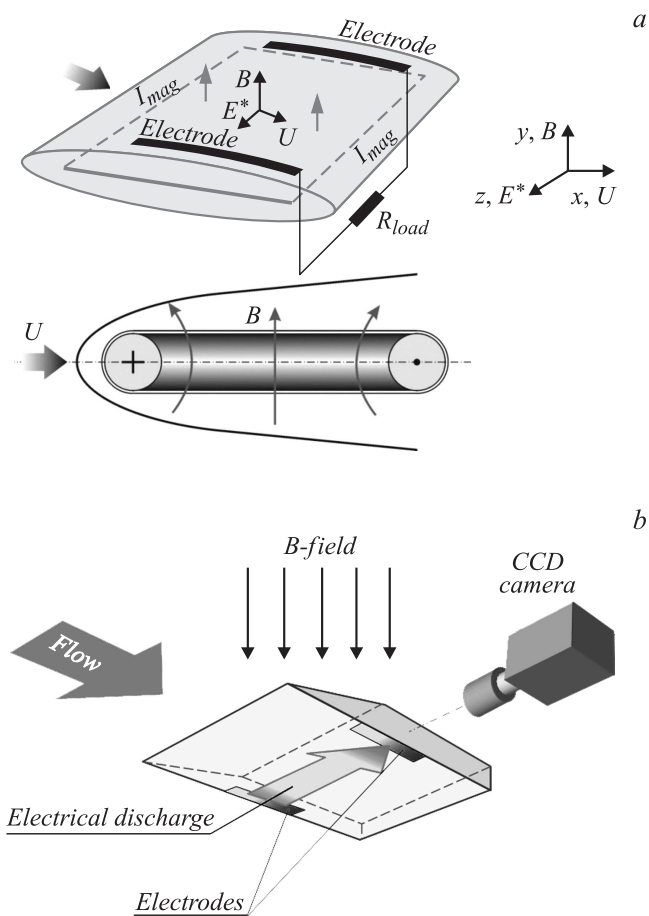


Рис. 1. *a* — схема МГД-парашюта из [2], *b* — схема экспериментальных исследований.

размеров тела и обеспечило увеличение полного аэродинамического сопротивления модели почти на порядок величины. Данная схема МГД-торможения потока была промоделирована экспериментально [1]. На рис. 1, *b* представлена схема эксперимента. В численных исследованиях использовалась термическая ионизация набегающего потока. При экспериментальном моделировании ионизация набегающего потока воздуха

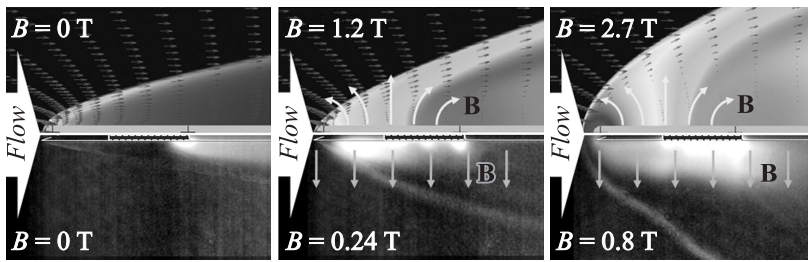


Рис. 2. Сопоставление результатов численного моделирования (сверху) и экспериментальных исследований (снизу).

осуществлялась с помощью электрического разряда, что не помешало получить качественное совпадение картин течения в экспериментах и численных исследованиях (рис. 2) [3]. Данная работа посвящена исследованию режима обтекания пластины при величине магнитной индукции 0.8 Т, когда наблюдаются пульсации положения головного скачка.

Экспериментальные исследования проводились на импульсной установке [4] по схеме, представленной на рис. 1, *b*. Параметры набегающего потока: скорость — 2000 м/с, число Маха $M = 6$, статическое давление — 12 Торт, плотность — 0.02 kg/m^3 , статическая температура — 270 К. Величина индукции внешнего магнитного поля менялась от 0 до 2 Т. Фотографирование картины течения около модели осуществлялось шпирен-методом с использованием скоростных ПЗС-камер.

В условиях эксперимента при величине магнитной индукции более 0.6 Т характерным является появление пульсаций положения головного скачка уплотнения, что сопровождается появлением пульсаций напряжения электрического разряда. Этот процесс был дополнительно исследован с помощью скоростной фотосъемки при магнитной индукции 0.8 Т в течение $60 \mu\text{s}$ (в течение двух пульсационных периодов). На рис. 3, *a* представлена фотография течения в момент, когда головной скачок 3 „отошел“ от носика модели 1 вверх по потоку, между электродами 2 наблюдается электрический разряд 4, а на рис. 3, *c* — характерный вид осциллограмм тока и напряжения электрического разряда, сплошной вертикальной линией *b* отмечен соответствующий момент фотографии. При пастеризации изображения (его разбиения на эквиденситы, области светимости с одинаковой плотностью) стало возможным более точно определить размер области проводимости потока и параметр МГД-

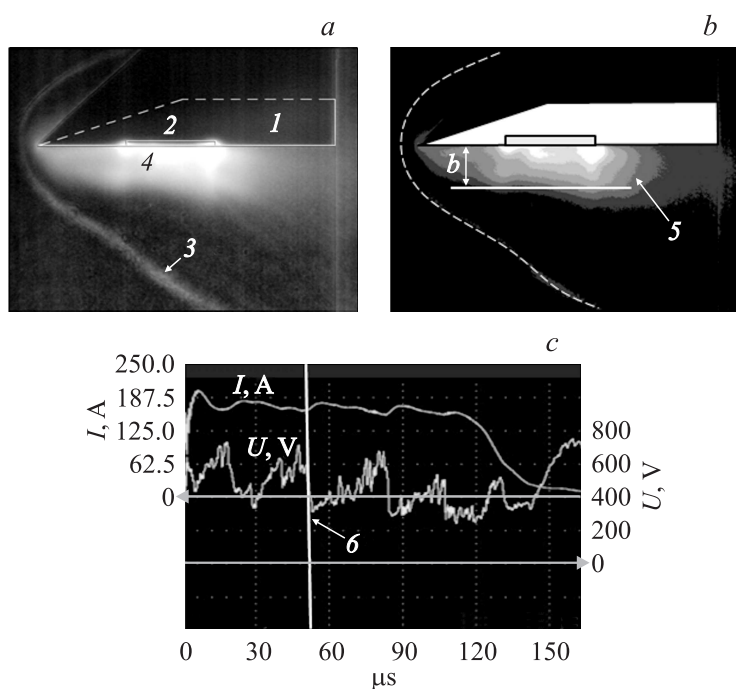


Рис. 3. Режим пульсаций положения косога скачка: *a* — фотография обтекания модели, *b* — пастеризация, *c* — осциллограммы тока и напряжения разряда в различных фазах пульсаций.

взаимодействия в различных фазах положения скачка. На рис. 3, *b* приведен пример выполнения подобной операции, где 5 — эквиденсита, взятая за пограничную область проводимости разрядного промежутка. В дальнейшем планируется уточнить пограничную область проводимости потока. Приведенный параметр Стюарта рассчитывался исходя из величины тока разряда, а также геометрических параметров области проводимости разряда:

$$S = \frac{IB}{b\rho_{\infty}v_{\infty}^2},$$

где I — ток разряда, B — индукция магнитного поля, b — усредненный размер области проводимости поперек потока, вдоль магнитного поля,

$\rho_{\infty} v_{\infty}^2$ — скоростной напор. Величина МГД-параметра в условиях эксперимента при $B = 0.8$ Т составила 0.2.

Мы полагаем, что при движении разрядной области вверх по потоку происходило увеличение напряжения на электродах и, как результат этого, возникало шунтирование разряда в области между электродами. Последующее движение разрядной области вверх по потоку приводило к изменению положения головного скачка. Этот процесс носил периодический характер с частотой до 30–35 кГц в условиях эксперимента. Существование такого режима локального МГД-взаимодействия на плоскости говорит о неравновесности изучаемых эффектов, на что стоит обращать внимание при их прикладном использовании.

Работа выполнена при поддержке программы РАН, проект 22-14 и Российского фонда фундаментальных исследований, проект 10-08-00598-а.

Список литературы

- [1] *Fomichev V.P., Pozdin V.E., Shevchenko A.B., Yadrenkin M.A.* // Moscow. ИИТ RAS. 2011. The 10th International workshop on magneto-plasma aerodynamics. Abstracts, Moscow, March 22–24, 2011. P. 80–82.
- [2] *Bityurin V.A., Bocharov A.N.* // 2nd International ARA Days. October 21–23, 2008. Arcachon, France.
- [3] *Fomichev V.P., Podzin V.E., Shevchenko A.B., Yadrenkin M.A.* // AIAA Hawaii Summer Conference. 2011. Honolulu, June 27–30, 2011. AIAA-2011-3462.
- [4] *Fomin V.M., Fomichev V.P., Golovnov I.A., Korotaeva T.A., Pozdhyakov G.A., Pravdin S.S., Shashkin A.P., Yakovlev V.I.* // AIAA 2004-1193, 2004.