

УДК 539.9

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ НА ГУАТ

Котов М.А., Рулева Л.Б., Солодовников С.И.

*Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук,
Россия, Москва, 119526, проспект Вернадского, д.101-1
ruleva@ipmnet.ru*

Аннотация

Технология проведения экспериментальных работ на гиперзвуковой ударной аэродинамической трубе лаборатории РадГД ИПМех РАН усовершенствована за счет устранения неопределенностей по времени инициации ударной волны и величине давления в камере высокого давления за счет применения электромагнитных клапанов и газоразрядных рампы

IMPROVING ACCURACY EXPERIMENTAL WORKS IN HYPERSONIC SHOCK AERODYNAMIC TUBE

Kotov M.A., Ruleva L.B., Solodovnikov S.I.

*Ishlinskyi Institute for Problems in Mechanics Russian Academy of Sciences (IPMech RAS),
Russia, Moscow, 119526*

Technology of experimental works of a hypersonic shock aerodynamic tube in lab. RadGD IPMech RAS improved by eliminating the uncertainty in time of initiation of the shock wave and of the pressure in the high pressure chamber through the use of solenoid valves and the discharge ramp

1. Введение

Продолжаются экспериментальные работы на гиперзвуковой ударной аэродинамической трубе (ГУАТ) лаборатории РадГД ИПМех РАН, подробное описание которой изложено в [1]. Программа работ, реализуемая на ГУАТ соответствует постановкам задач по гиперзвуковой аэротермодинамике, сформулированным в [2, 3]. Фотография ГУАТ приведена на рис.1. Здесь на переднем плане изображена камера высокого давления (КВД), которая последовательно соединена с камерой низкого давления (КНД), представляющей собой длинный цилиндрический канал. КНД связан с вакуумной камерой большого диаметра, в которой имеются смотровые окна, а внутри установлены модели профилей летательных аппаратов (ЛА). Между КВД и КНД установлена медная мембрана. КНД, связанная с вакуумным блоком через посредство сверхзвукового сопла. На фотографии рис. 1 видны вакуумные насосы, датчики динамического давления и измерительная аппаратура.

При проведении экспериментов на ГУАТ фиксировались: величина давления, при которой происходит разрыв медной мембраны, отделяющей КВД от КНД, и время разрыва относительно сигналов датчиков динамического давления [4]. Однако имеет место неопределенность времени инициации ударной волны и величины давления при разрыве медной мембраны.

В экспериментах использовались различные приемы прогнозирования параметров раскрытия мембраны, такие, как выполнение надрезов различной конфигурации и применение ножевого блока. При этом давление раскрытия мембраны измерялось электрическим манометром визуально и через посредство АЦП в цифровом виде в РС. Цифровой манометр имеет большую инерционность по сравнению с высокочастотными датчиками давления.

Для задания точных параметров, при которых происходит инициация ударной волны, внутри ГУАТ необходимо применение электромагнитного клапана.



Рис.1. Гиперзвуковая ударная аэродинамическая труба (ГУАТ) лаборатории РадГД ИПМех РАН

2. Электромагнитный клапан для ГУАТ

Основные технические требования к электромагнитному клапану: быстродействие, возможность встраивания в ГУАТ, безопасность при инициации ударной волны и не нарушение герметичности экспериментальной установки. Таким требованиям отвечает быстродействующий клапан КБ80-50 [5], время раскрытия которого составляет 0,02 с. Оригинальность метода, позволяющего достичь такого быстродействия, запатентована авторами [6,7]. Принцип действия электромагнитного клапана хорошо видно из приведенной страницы патента [7] (рис. 2).

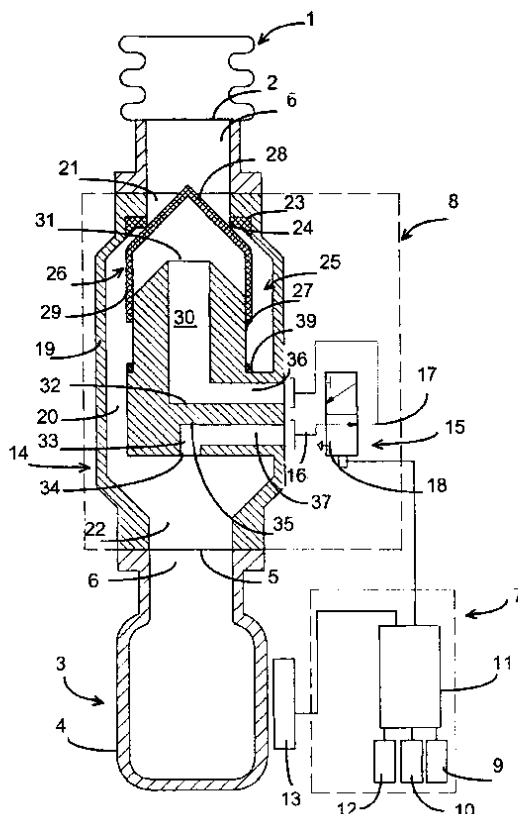


Рис. 2. Схема быстродействующего клапана по патенту US 7.232.152 B2

Проходное отверстие закрывается подпружиненным коническим колпаком, внутри которого находится небольшое количество воздуха. При срабатывании электрического реле воздух из колпака выходит, давление колпака на пружины (электромагниты) исчезает и колпак отпирает проходное отверстие.

На рис. 3. изображен быстродействующий клапан КБ80-50, выпускаемый в РФ в модификации фланцевого соединения с объектом.



Рис. 3. Быстродействующий клапан КБ80-50

Экспериментальная установка ГУАТ имеет винтовое соединение КВД и КНД с нестандартной гайкой большого диаметра и контрвинтами, как показано на рис.4.

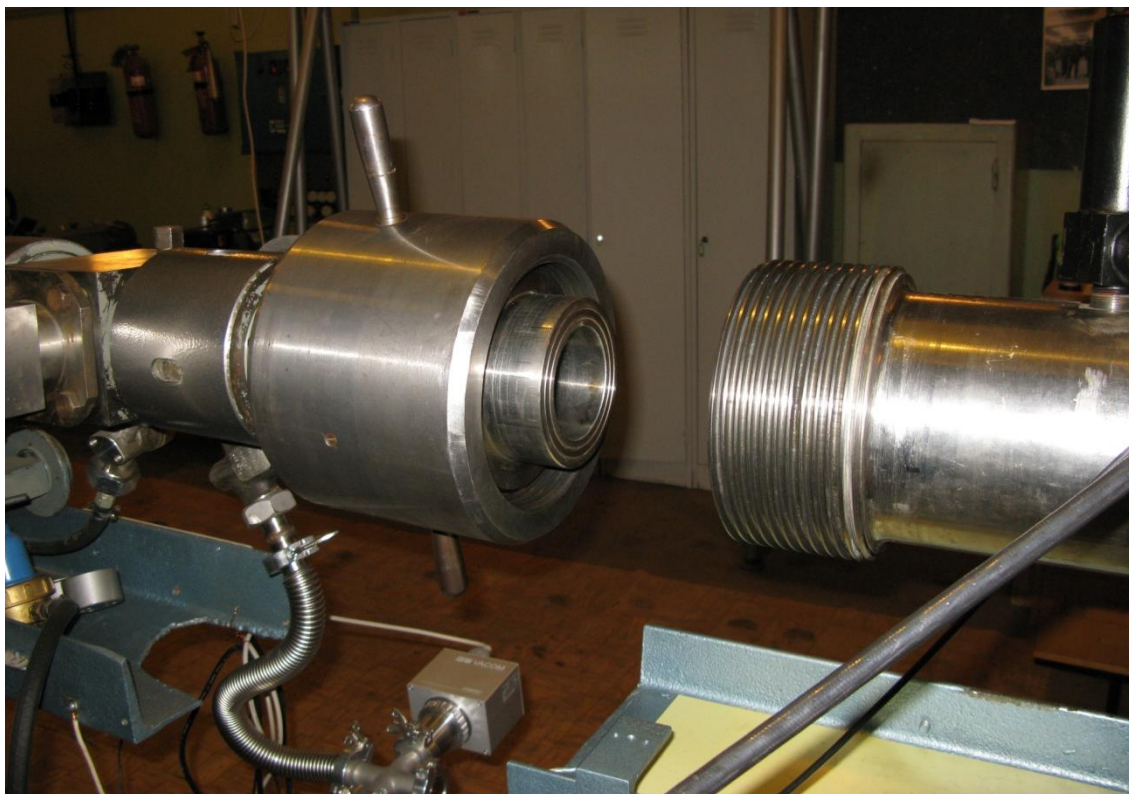


Рис. 4. Винтовое соединение КВД и КНД ГУАТ

Чтобы установить **клапан** КБ80-50 на ГУАТ в лаборатории РадГД были разработаны чертежи переходников для обеспечения герметичности и прочности соединений камеры высокого давления с быстродействующим клапаном, а последнего, с камерой низкого давления.

3. Проектирование переходников в системе: клапан-ГУАТ

Трудности изготовления переходников с упорной резьбой [8], как показано на рис.5. связаны с особыми требованиями на герметичность для блоков, периодически подвергающихся высокому давлению и вакууму.

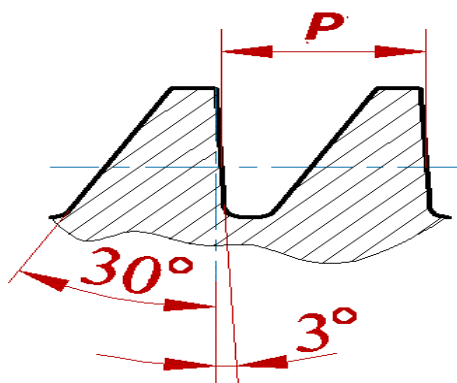


Рис.5. Упорная резьба, $P=8$ мм, $S=190 \times 8$

Резьба выполнена с профилем в виде неравнобочной трапеции с углом рабочей стороны 3° и нерабочей -30° для передачи больших усилий, действующих в одном направлении.

Для спроектированных переходников разработаны и изготовлены калибры: проходной и непроходной, которые изображены на рис. 6.



Рис. 6. Спроектированные и изготовленные проходной и непроходной калибры

Регулировка положения колпака клапана происходит при подаче электрического импульса оператором. Таким образом, время инициации ударной волны и формирование заданного давления толкающего газа в КВД регламентировано. Для автоматического заполнения толкающим газом КВД, рабочим газом КНД, регулирующим давлением быстродействующего клапана, разработана схема газораспределительной системы.

4. Газораспределительная система ГУАТ

Разработана газораспределительная система ГУАТ, включающая в себя несколько рампы для инертных технических газов чистотой 99.997 %. Первая разрядная рампа на три баллона подключена к смесителю, а через него к рампе КВД. Вторая разрядная рампа на три баллона подключена к КНД для заполнения ее толкающим газом. Рампа для двух воздушных баллонов выполняет функции «гребенки». Рампа КВД управляется электромагнитным клапаном. Рампа КВД и смеситель также подключены через систему вентилей к вакуумному насосу. Отдельно обеспечивается управление быстродействующим электромагнитным клапаном КБ80-50.

Технология подготовки к запуску ГУАТ заключается в следующем.

ГУАТ собирается герметично. Мембрана устанавливается только одна - перед сверхзвуковым соплом. Заполняется газом быстродействующий электромагнитный клапан КБ80-50. Вакуумируются с различной степенью вакуума КВД, КНД и вакуумный блок. КНД заполняется рабочим инертным газом. КВД заполняется толкающим газом до желаемого давления, управляя электромагнитным клапаном рампы. Включаются на РС через АЦП ждущие настройки сверхскоростной видеокамеры и динамических датчиков давления. Затем, управляя быстродействующим электромагнитным клапаном КБ80-50, «открываются» без разрушения медной мембраны КВД. Ударная волна, сформированная в КНД, устремляется к сверхзвуковому соплу и происходит истечение сверхзвуковыми потоками смесей газов на профили моделей ЛА.

Заключение

Применение газоразрядных рампы с электромагнитным клапаном рампы позволяет заполнить КВД и КНД смесями газов с заданным давлением и большой степенью точности. Использование быстродействующего клапана КБ80-50 в ГУАТ с разработанными переходниками приводит к иницированию ударной волны точно во времени.

Экспериментальные работы на гиперзвуковой ударной аэродинамической трубе выполнены по Программам РАН.

Литература

1. Котов М.А., Рулева Л.Б., Солодовников С.И., Суржиков С.Т. Исследование ударно-волновых процессов обтекания клиновидных моделей с кавернами в гиперзвуковой ударной аэродинамической трубе. Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2014. Т.15, Вып.2. // www.chemphys.edu.ru/pdf/2014-10-02-002.pdf
2. Shang J.S., Surzhikov S.T. Nonequilibrium radiative hypersonic flow simulation// Progress in Aerospace Sciences. 2012. Vol.53. pp.46-65.
3. Суржиков С.Т. Перспективы многоуровневого подхода к задачам компьютерной аэрофизики// Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2008. Т.7. // www.chemphys.edu.ru/pdf/2008-09-01-002.pdf
4. Котов М.А., Рулева Л.Б., Солодовников С.И., Суржиков С.Т. Технологические аспекты проведения экспериментальных исследований на гиперзвуковой ударной аэродинамической трубе. Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2014. Т.15, Вып.2. // www.chemphys.edu.ru/pdf/2014-10-02-003.pdf
5. ООО «НПП «Иста». Клапаны быстродействующие// www.ista-pneumatics.ru
6. Патент RU № 2089773 С1.
7. Патент US 7.232.152 В2.
8. ГОСТ 10177-82.

Статья поступила в редакцию 18 ноября 2014 г.