

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРИБАЛЛИСТИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК КАМЕРЫ СГОРАНИЯ
НА ГИДРОРЕАГИРУЮЩЕМ ТОПЛИВЕ

*Методические указания
к выполнению лабораторной работы по курсу
«Основы теории, расчета и конструкции РДГТ»*

Москва

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана

2010

УДК 621.455

ББК 39.65

О-62

Рецензент *И.Е.Никитина*

О-62 **Определение внутрибаллистических характеристик камер сгорания на гидрореагирующем топливе** : метод. указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Основы теории, расчета и конструкции РДГТ» / А.Н. Бобров, Д.А. Ягодников, В.И. Лапицкий, А.В. Игнатов. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 25, [3] с. : ил.

Рассмотрена методика расчета настроечных параметров стендовой установки и обработки результатов огневых стендовых испытаний по определению характеристик модельной камеры сгорания гидрореактивной установки. Освещены вопросы, связанные с особенностями гидрореактивных двигателей, а также рабочих процессов в их камере сгорания. Приведены методики проведения огневых стендовых испытаний, определения критического сечения сопла и настройки гидравлических характеристик магистралей с использованием ПЭВМ.

Для студентов, обучающихся по специальности «Ракетные двигатели».

УДК 621.455

ББК 39.65

Учебное издание

Бобров Александр Николаевич, **Ягодников** Дмитрий Алексеевич,
Лапицкий Владимир Иванович, **Игнатов** Андрей Владиславович

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРИБАЛЛИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАМЕРЫ СГОРАНИЯ НА ГИДРОРЕАГИРУЮЩЕМ ТОПЛИВЕ

Редактор *О.М. Королева*

Корректор *О.Ю. Соколова*

Компьютерная верстка *С.А. Серебряковой*

Подписано в печать 27.04.2010. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,63. Тираж 100 экз. Изд. № 112. Заказ .

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5.

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010

ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

В 60–70-е годы XX в. изменился качественный состав военноморских флотов государств мира. Их основной ударной силой стали атомные ракетные и многоцелевые подводные лодки, высокие тактико-технические характеристики которых (скорость, глубина погружения, дальность гидроакустического целеуказания и др.) сделали неэффективным применявшееся для уничтожения подводных лодок торпедное оружие и системы бомбометания. Это явилось толчком для создания новых видов противолодочного оружия, обеспечивающего резкое уменьшение времени доставки боевого заряда к цели, увеличение дальности и точности стрельбы.

В 70-х годах прошлого века в Советском Союзе впервые в мире был создан принципиально новый вид оружия, не имеющий аналогов и прототипов за рубежом, — скоростные подводные кавитирующие ракеты «Шквал» [1], внешний вид такой ракеты изображен на рис. 1.

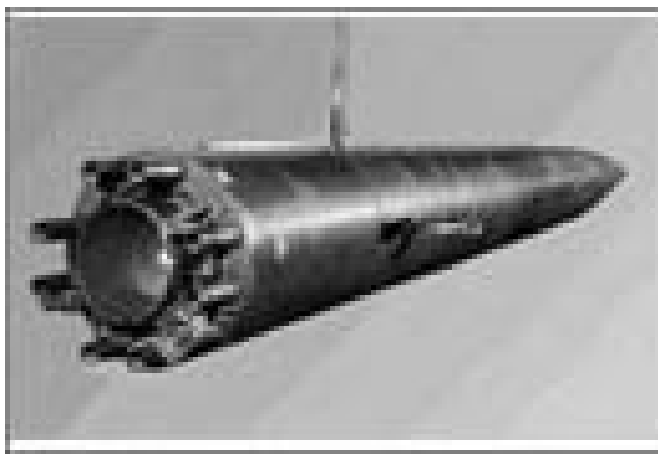


Рис. 1. Общий вид кавитирующей ракеты

Новизна ракет «Шквал» заключается в движении под водой в режиме развитой кавитации (отрывного обтекания), когда основная часть корпуса ракеты охвачена парогазовой полостью-каверной. При этом резко снижается гидродинамическое сопротивление и достигается высокая скорость подводного движения ракеты, в 3–5 раз превышающая скорость обычных торпед, движущихся в режиме сплошного (безотрывного) обтекания. Исследования движения ракеты в кавитирующем режиме были начаты еще в конце 1940-х годов в филиале ЦАГИ под руководством акад. Л.И. Седова, а также учеными ВМФ СССР, в том числе Г.В. Логвиновичем, который возглавил научное руководство разработкой теории и прикладных вопросов гидродинамики развитых кавитационных течений применительно к высокоскоростным подводным ракетам [2].

Для достижения высоких технических характеристик ракет, имеющих скорости движения под водой порядка 100 м/с (это примерно 194,4 узла), необходимо не только многократно снизить сопротивление движению, но и создать высокоэффективный реактивный двигатель (энергосиловую установку) на экологически чистом, безопасном в эксплуатации, энергоемком топливе, а также систему управления, органы управления и стабилизации.

Наиболее полно всем требованиям в качестве энергосиловой установки отвечает прямоточный гидрореактивный двигатель на гидрореагирующем топливе. Удельный импульс такого двигателя в 2,5–3 раза выше, чем у известных ракетных двигателей, поскольку в качестве рабочего тела и окислителя используется забортная вода, а в качестве горючего — гидрореагирующие высокометаллизованные пиротехнические составы.

В процессе создания и испытания высокоскоростной кавитирующей ракеты «Шквал» проведено свыше 300 пусков (из них 95 % выполнено с плавучих испытательных стендов на озере Исык-Куль и 5 % — с подводных лодок на Черноморском и Северном флотах). Постановлением ЦК КПСС и Совета министров СССР от 29 ноября 1977 г. ракета «Шквал» была принята на вооружение ВМФ СССР под обозначением ВА-111 (длина 8,2 м, вес 2,7 т), а в 1978 г. началось ее серийное производство [2]. Этим оружием стали оснащаться практически все отечественные подводные атомоходы второго и третьего поколений.

За рубежом проблемой создания аналогичных подводных ракет занимаются давно, но там до сих пор нет образца, принятого на вооружение. В 1988 г. в Германии была начата работа по программе «Барракуда». Цель этой программы — всестороннее исследование возможности создания подводного ракетного оружия, использующего эффект искусственной кавитации. В результате проведенных исследований был сформирован облик подводных ракет для активных систем противоторпедной обороны подводных лодок и надводных кораблей.

В США Центр подводной войны NUWC (Naval Undersea Warfare Center) начиная с 1988 г. проводит по программе SUPERCARV исследования с целью создания высокоскоростной (скорость движения более 200 узлов) суперкавитирующей подводной ракеты для защиты кораблей от атак скоростных торпед. Предполагается, что в состав противоторпеды войдут система самонаведения с антенной на кавитаторе, газодинамические (в сопле двигателя) и гидродинамические откидывающиеся (в средней части) рули, твердотопливный ракетный двигатель, баллон и запасы газа для поддува каверны, конический кавитатор.

Появление новых технологий производства нанодисперсных ($0,001 \text{ мкм} < D_{43} < 0,1 \text{ мкм}$) ¹ материалов и, в частности, порошкообразных металлических горючих (ПМГ) позволяет создать топлива с новыми характеристиками, открывая пути для дальнейшего развития ракетных и реактивных двигательных установок за счет повышения энергетики и плотности твердых топлив посредством применения более энергоемких металлов, включая те, которые являются неэффективными, если их характерный размер лежит в диапазоне 1...100 мкм.

Цель лабораторной работы — познакомить студентов со стендовым комплексом для проведения огневых стендовых испытаний модельных камер гидрореактивных двигательных установок, а также с методиками проведения и обработки результатов огневых стендовых испытаний камеры экспериментального гидрореактивного двигателя на гидрореагирующем топливе.

¹ Среднемассовый диаметр $D_{43} = \Sigma n_j D_j^4 / \Sigma n_j D_j^3$.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОТРАБОТКИ КАМЕР СГОРАНИЯ ГИДРОРЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ГИДРОРЕАГИРУЮЩИХ ТОПЛИВАХ

Пневмогидравлическая схема (ПГС) экспериментальной установки, показанная на рис. 2, состоит из воздушной рампы с запорно-регулирующей арматурой, блока подачи воды, блока измерений и экспериментальной установки. Экспериментальная установка функционирует следующим образом. Под действием заранее рассчитанного постоянного давления наддува, обеспечиваемого газовым редуктором, вода вытесняется воздухом из бака *Б* и через магистраль попадает в коллекторы зон 1 и 2 экспериментальной камеры сгорания. Дроссельные шайбы — устройства *ДРН1* и *ДРН2* — позволяют задавать необходимый расход воды в каждую зону. После подачи команды на воспламенение с определенной задержкой, необходимой для гарантированного воспламенения заряда гидрореагирующего топлива, открываются пускоотсечные клапаны *В1* и *В2* и начинается подача воды в зоны 1 и 2 камеры.

В процессе проведения эксперимента контролируются и регистрируются следующие параметры: давление наддува бака с водой — датчиком *ДД1*, давление и расход воды в зоны 1 и 2 — датчиками *ДД2*, *ДД3*, *РМ1* и *РМ2* соответственно, давление продуктов сгорания в зонах 1 и 2 — датчиками *ДД4* и *ДД5* соответственно, температура продуктов сгорания в зоне 2 — датчиком *ДТ1*, тяга камеры — измерительным устройством *ТИУ*.

На рис. 3 представлена структурная схема регистрации сигналов с датчиков, используемая на испытательном стенде. Сигнал *X* с датчика может быть либо непрерывным, либо импульсным. С датчика сигнал *X* поступает на промежуточный преобразователь, где происходит его предварительная обработка. Преобразованный сигнал подается на усилитель. С усилителя сигнал поступает на регистратор (регистрирующий орган), тип которого определяется первичным преобразователем. Регистратор связан с ПЭВМ, выступающей в качестве устройства хранения и первичной обработки данных эксперимента. Одновременно может осуществляться выдача результатов измерения на бумажный носитель (шлейфовый осциллограф или принтер компьютера).

Для проведения экспериментов по исследованию воспламенения и горения гидрореагирующего твердого топлива (ГРТ), а также для оценки эффективности рабочих процессов в камере предназначен экспериментальный гидрореактивный двигателя (ГРД), общий вид и конструкция камеры сгорания которого приведены на рис. 4. Двигатель представляет собой экспериментальную камеру сгорания на ГРТ, закрепленную на стапеле в горизонтальном положении с подведенными к ней магистралями подачи воды. Некоторые геометрические и конструктивные параметры двигателя (диаметры и число форсунок, свободный объем камеры) можно варьировать, в частности, за счет увеличения ее длины.

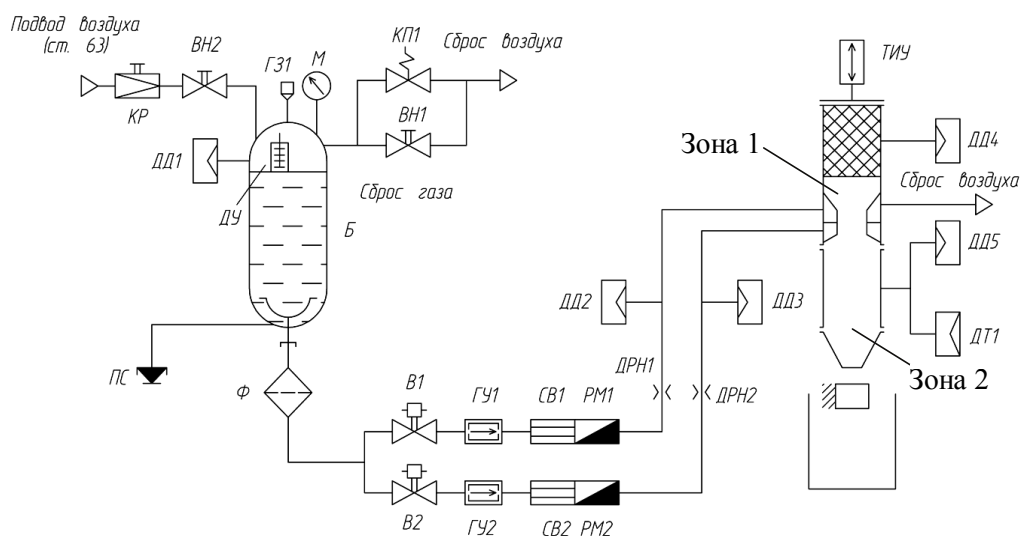


Рис. 2. Пневмогидросхема экспериментальной установки:

КР — клапан редукционный; ВН1, ВН2 — вентили наддува; ГЗ1 — манометр; ДД1 — ДД5 — датчики давления; ДУ — датчик уровня; Б — бак; КПП — предохранительный клапан; ПС — пробка сливная; Ф — фильтр; В1, В2 — пусковые клапаны; ГУ1, ГУ2 — обратные клапаны; СВ1, СВ2 — скрепляющие устройства; РМ1, РМ2 — турбинные датчики расхода; ДРН1, ДРН2 — дроссельные устройства; ТИУ — тягоизмерительное устройство

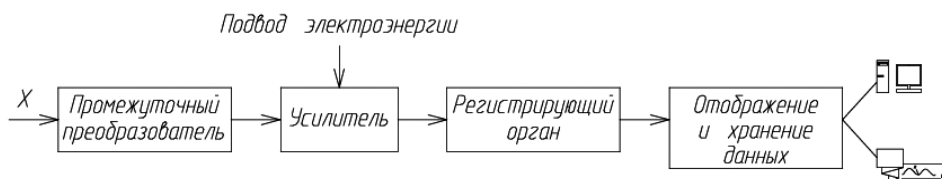


Рис. 3. Структурная схема регистрации сигналов с датчиков (X — сигнал с датчика)

ОГЛАВЛЕНИЕ

Вводная часть.....	3
1. Экспериментальная установка для отработки камер сгорания гидрореактивных двигателей на гидрореагирующих топливах	6
2. Методика проведения огневых стендовых испытаний	9
3. Методика определения настроечных параметров	14
4. Методика задания начальных параметров огневых стендовых испытаний	20
5. Методика обработки результатов измерений	21
6. Порядок выполнения работы	24
Контрольные вопросы	25
Литература	25