

УДК. 21474

### Имитатор теплогазодинамических воздействий

*Луньков Н.А., студент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
кафедра «Ракетные двигатели»  
[daj@bmstu.ru](mailto:daj@bmstu.ru)*

Создание теплонапряженных элементов конструкций двигательных установок летательных аппаратов тесно связано с использованием новых материалов. Для исследования характеристик материалов и подтверждения работоспособности изделий, выполненных из них необходимо проводить большое количество теплогазодинамических испытаний.

Натурные испытания затруднены, поэтому применяются имитаторы теплогазодинамических воздействий, в качестве которых применяются различного рода газогенераторы (ГГ), производящие горячие продукты сгорания топливных смесей с целью дальнейшей тепловой обработки этими продуктами различных испытуемых материалов. Наряду с этим объектами применения таких ГГ являются, например, сушильные установки, утилизаторы вредных отходов, производство строительных материалов.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана имеются подобные установки [1]. В большинстве своем эти установки отличаются узким диапазонами изменения выходных параметров, что затрудняет проведение полного цикла теплогазодинамических испытаний.

В данной работе представлено описание имитатора теплогазодинамических воздействий. Обеспечивающего проведение испытаний теплонапряженных конструкций в широком диапазоне температур, расходов, и различных рабочих средах. Приведены результаты параметрических расчетов, позволяющих производить настройку имитатора на требуемый режим.

Для создания такого имитатора использовать лабораторный стенд [2] в качестве базового модуля и отработанных конструктивных схемных решений, связанных с системой подачи, принципом зажигания и других элементов стенда.

Структурно-функциональная схема имитатора ТГДВ представлена на рис. 1.

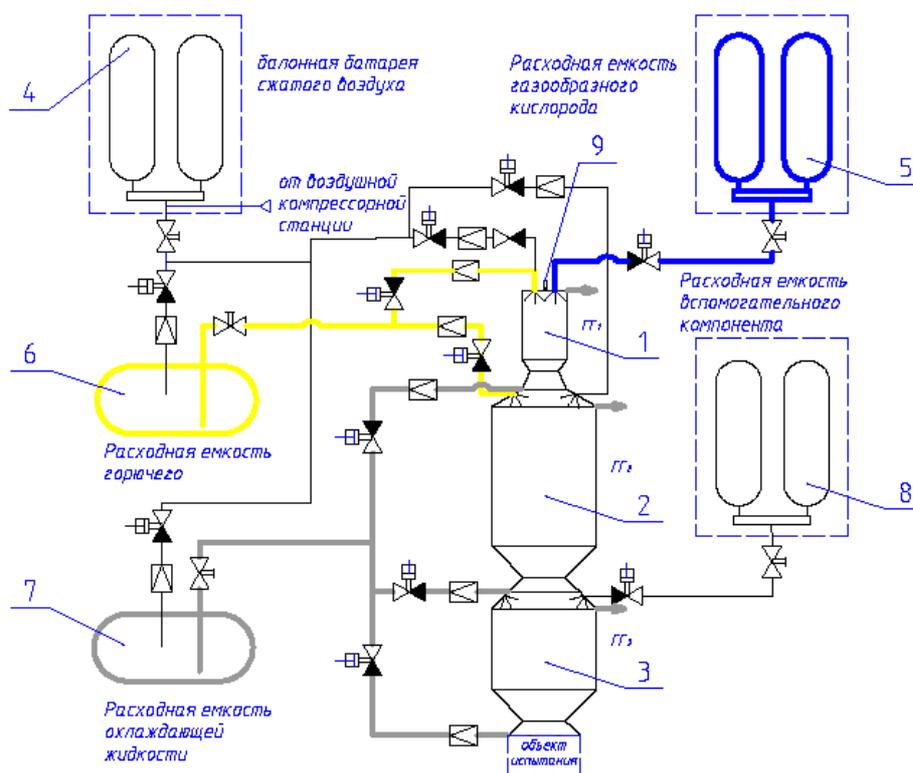


Рис. 1. Структурно-функциональная схема установки

Предлагаемая схема теплогазодинамической установки состоит из трех модулей - генераторов рабочей среды:

1. Базовым элементом данной схемы является разработанный на кафедре Э1 МГТУ им. Н.Э. Баумана, высоконадежный, находящийся в эксплуатации лабораторный стенд ЖРД [2]. Камера этого ЖРД, ГГ1 (1), создает высокотемпературный, малорасходный поток, который обеспечивает, воспламенение рабочей смеси в камере сгорания ГГ2 (2);
2. Камера сгорания - обеспечивает необходимую температуру и расход;
3. Камера смешения ГГ3 (3), здесь протекает смешение продуктов сгорания и нейтральных добавок (Азот, гелий и т.п. или твердой фазы) с целью создания необходимого состава рабочей среды.

Предлагаемая установка способна выдавать суммарный расход  $\dot{m}_\Sigma = 5 \text{ кг/с}$ , в течение пяти минут. Для обеспечения данного режима истечения требуется: расходная емкость горючего (6) с общим объемом  $\dot{V}_\Sigma = 1.6 \text{ м}^3$ , расходная емкость газообразного кислорода (5)  $\dot{V}_\Sigma = 15 \text{ м}^3$ , баллонная батарея сжатого воздуха (4)  $\dot{V}_\Sigma = 22 \text{ м}^3$ , расходная емкость охлаждающей жидкости (7)  $\dot{V}_\Sigma = 5.3 \text{ м}^3$  и расходной емкости вспомогательного компонента (8).

Подготовка установки к запуску осуществляется в соответствии с отработанной методикой [1]. Запуск данной установки осуществляется последовательно. Сперва проводят продувку установки воздухом. Затем включается система охлаждения и подается топливо в первую зону ГГ1 (1), где с помощью свечи (9) осуществляется его воспламенение. После того как установится надежный режим горения в первой зоне, горючее а за ним и окислитель подается в Камеру сгорания (2). Здесь происходит набор заданного массового расхода и температуры. После чего вспомогательный компонент подается в Камеру смешения (3) и установка выходит на режим.

Отличительной особенностью предлагаемой установки является блочная (модульная) конструкция имитатора и наличие разделительных сопел Лавалья, обеспечивающих независимость рабочих процессов в ГГ-х имитатора.

Такая конструкция обеспечивает надежный выход на режим и стабильную работу.

Конструкция смесительной головки и коллектора дополнительного подвода воздуха дают возможность обеспечить требуемое распределение температуры по поперечному сечению ГГ, с возможностью регулирования ее среднего значения и высокую полноту сгорания топлива.

Вариант конструктивная схема представлен на рис. 2

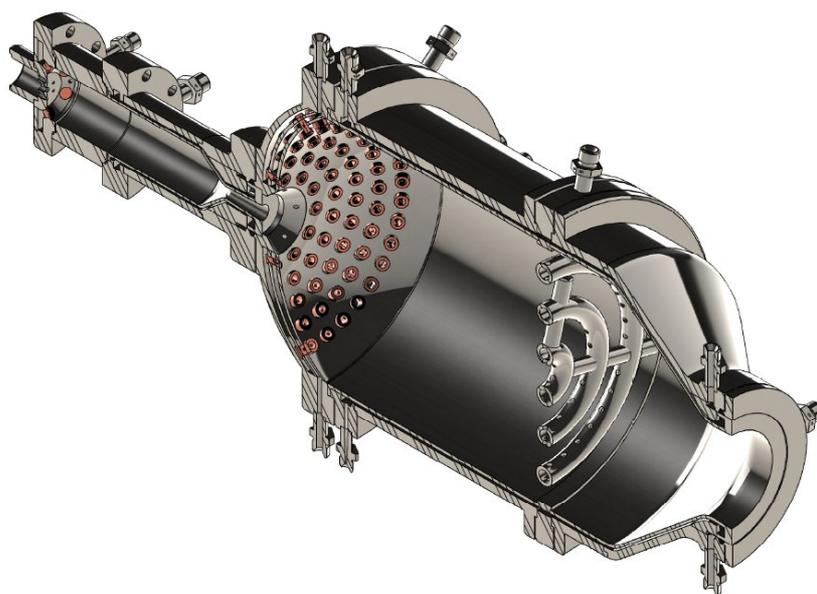


Рис. 2. конструктивная схема имитатора

Данная схема ГГ имеет только качественный характер, для ее реализации требуется проведение гидравлических и теплопрочностных расчетов, изготовление и проведение пусконаладочных работ. На данной схеме изображены основные конструктивные узлы систем подачи топлива и охлаждения в ГГ1 и ГГ2.

Расчетная схема представлена на рис. 3.

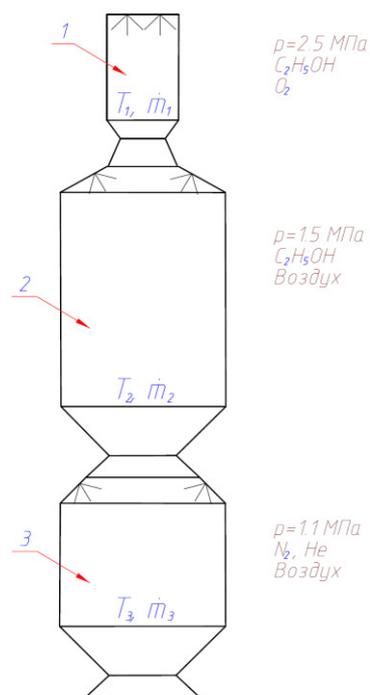


Рис. 3. Расчетная схема установки

Исходными данными в процессе проектирования первой зоны ГТ являются давление в камере сгорания ( $p_k=2,5 \text{ МПа}$ ). Топливо - газообразный кислород и этиловый спирт [96.5%], возможно использование других углеводородных горючих, например - керосин. Температура в камере сгорания ( $T_k$ ) определяется, как правило, из условия термостойкости огневой стенки, возможностями и принципиальной схемой системы охлаждения, значением температуры выхода.

Результаты расчета распределения термодинамических параметров в зависимости от соотношения компонентов ( $\alpha$ ) в первой зоне, выполненные в программе Астра, приведены на рис.

4.

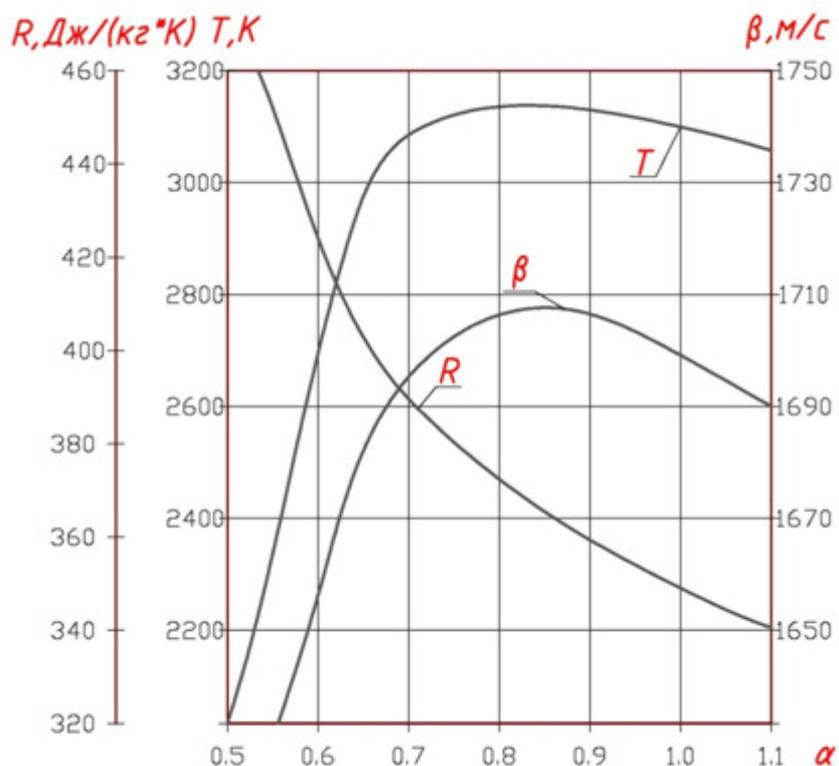


Рис. 4. Распределение параметров в первой зоне

Данные результаты можно использовать при настройке стенда в случае, если необходим высокотемпературный малорасходный поток и мы используем только ГТ1.

Топливом для второй зоны газогенератора служит воздух и углеводородное горючее, в нашем случае этиловый спирт [96.5%]. Давление во второй зоне ГТ ( $p_k=1,5 \text{ МПа}$ ).

Газообразный окислитель (воздух, который условно состоит из 23 % кислорода и 77 % азота по массе) и горючее (спирт) попадают во вторую зону ГТ при низкой температуре, близкой к 300 К. Нагрев этих веществ до температуры воспламенения (приблизительно 900 К) происходит за счет конвективного и лучистого теплообмена от продуктов сгорания первой зоны.

По результатам расчета, распределения температуры ( $T$ ) и соотношения компонентов ( $Km$ ) от суммарного расхода ( $\dot{m}\Sigma$ ) во второй зоне, при оптимальном режиме первой зоны, была построена номограмма рис.5, которая позволяет настроить стенд по заданным параметрам.

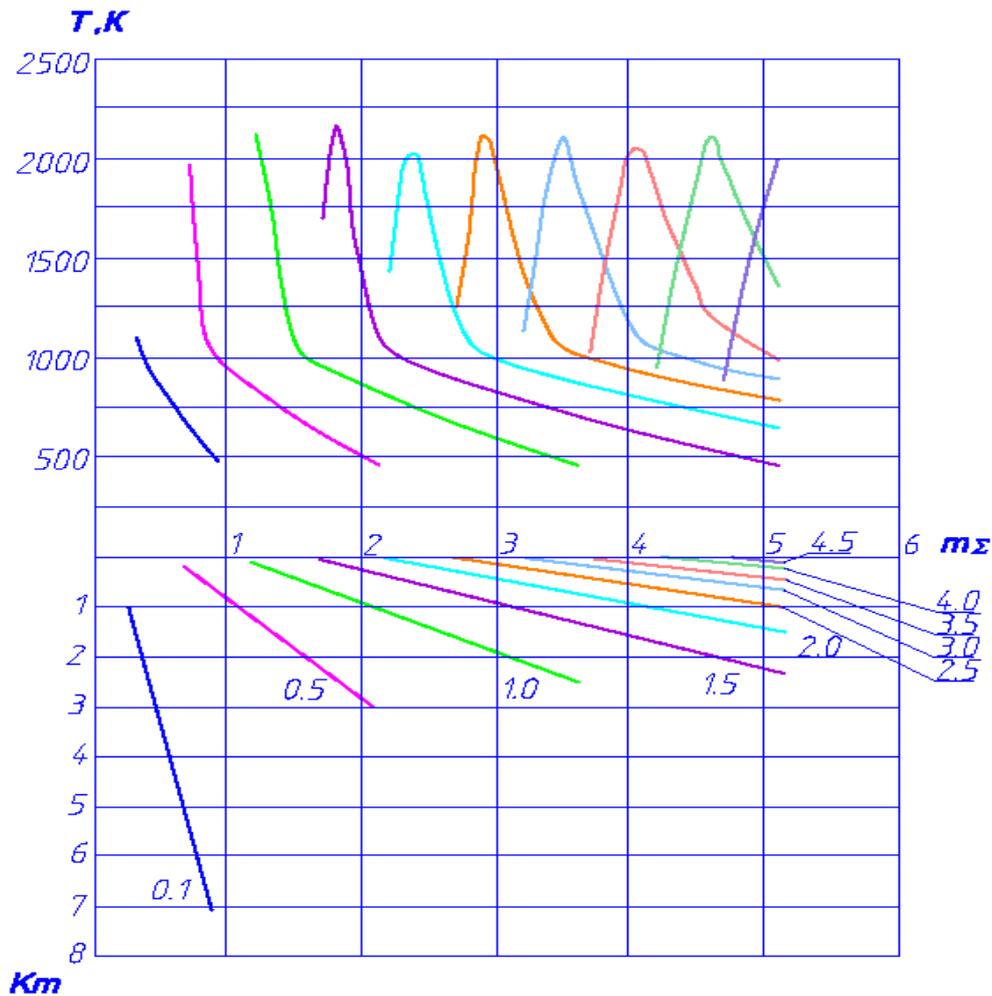


Рис. 5. Номограмма настройки стенда

Пример использования данной номограммы для настройки стенда на режим  $T=1500K$ ,  $\dot{m}_\Sigma = 2,5 \text{ кг/с}$  представлен на рис. 6.

На пересечении прямых постоянного суммарного расхода и постоянной температуры  $t. 1$  находим график, которому соответствует прямая  $Km$  т. 2.

$$\dot{m}_2 = \frac{\dot{m}_\Sigma}{Km + 1} = \frac{2,5}{0,23 + 1} = 2,03 \text{ кг/с}$$

$$\dot{m}_o = \frac{\dot{m}_\Sigma * Km}{Km + 1} = \frac{2,5 * 0,23}{0,23 + 1} = 0,47 \text{ кг/с}$$

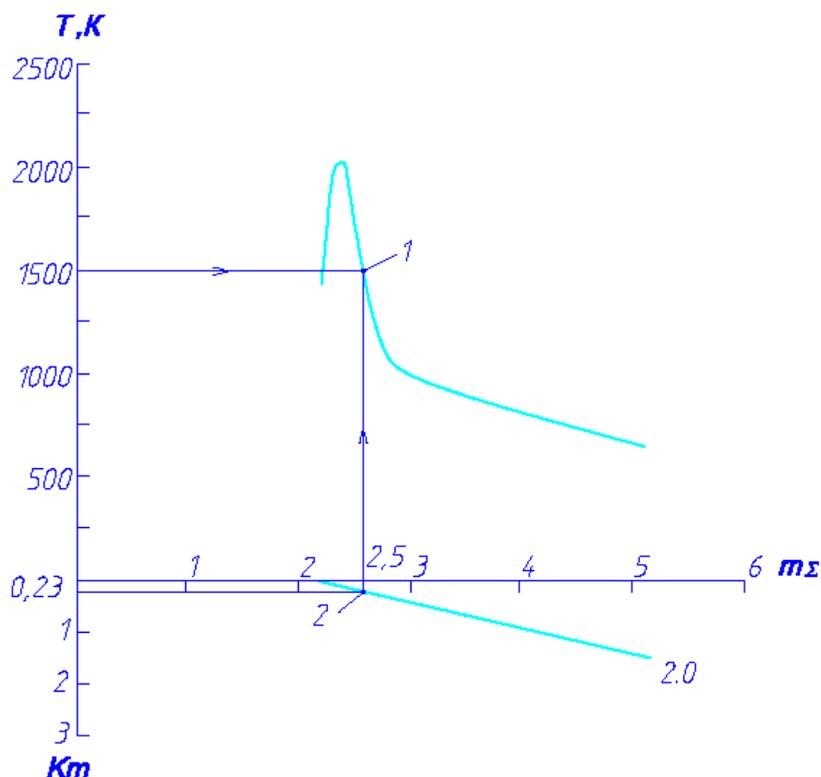


Рис. 6. Пример использования номограммы для настройки стенда

Третья зона ГГ представляет собой камеру смешения, служащую для подвода и смешения добавочных компонентов и продуктов сгорания газогенератора. Температура продуктов смешения изменяется от 400 до 2150 К, при этом одинаковой температуре может соответствовать несколько значений суммарных расходов при различных соотношениях компонентов. Добавочными компонентами являются азот, углекислый газ, гелий, др. и твердая фаза, которые предварительно смешиваются и подаются через струйные форсунки в камеру смешения.

Проведенные расчеты показывают, что имитатор позволяет проводить испытания материалов в диапазоне температур от 400 до 2150 К как в восстановительной так и в окислительной среде.

Представленная установка может использоваться в широком диапазоне научных исследований. Это изучение элементов смесеобразования, путем варьирования соотношением компонентов топлива и добавляемых компонентов (углекислый газ и азот и т.п. и твердой фазы), исследование процессов теплозащиты теплонапряженных конструкций, причём возможно охлаждение различными хладагентами, а также и другие теплогазодинамические исследования, также данная установка может быть использована для исследования оптических свойств продуктов сгорания.

Полученные результаты исследований могут быть использованы при разработке газодинамических лазеров на горении для самых разнообразных целей. Также результаты, полученные с помощью разработанной установки, могут сократить время и расходы на исследования, доводку и испытания газодинамических лазеров на горении.

### Список литературы

1. Машины, приборы и стенды/ каталог №7 МВТУ машиностроение 1980.
2. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Теория двигателей» /А.А. Дорофеев, Г.Т. Лоскутникова, В.А. Чернухин МГТУ 1991.
3. Основы теории тепловых ракетных двигателей: (Общая теория ракетных двигателей) / А.А. Дорофеев: Учебник для авиа- и ракетостроительных специальностей вузов. – М.: Изд-во МГТУ, 1999г. – 415 с.