

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШТАТНЫХ ЖРДМТ НА САМОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ КОМПОНЕНТАХ ТОПЛИВА ПРИ ИМПУЛЬСНЫХ РЕЖИМАХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Шустов С.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет

EXPERIMENTAL RESEARCH OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF STAFF LTRE WITH HYPERGOLIC PROPELLANT UNDER IMPULSE ENGAGING CONDITIONS

Shustov S.A. The results of the experimental research of dynamic characteristics of staff LTRE with thrust from 10 N to 130 N with hypergolic propellant under impulse engaging conditions are described. The formation specific of front and behind impulse connected with explosive character of working procedure is defined.

Экспериментальное исследование проводилось в НИЦ КЭ СГАУ (ранее ОНИЛ-2) с целью получения информации о рабочих процессах при импульсных режимах включений жидкостных ракетных двигателей малой тяги (ЖРДМТ) на самовоспламеняющихся компонентах топлива АТин и НДМГ. Эта информация необходима как для лучшего понимания физической картины рабочих процессов, так и для формирования физико-математических моделей этих процессов, используемых для решения актуальными проблемами, связанными как с совершенствованием существующих, так разработкой перспективных ЖРДМТ.

Объектом исследования являлись штатные ЖРДМТ тягой от 10 Н до 130 Н со струйной и струйно-центробежными системами смесеобразования. Номинальное входное давление в топливных магистралях составляло 1.5 МПа, коэффициент избытка окислителя $\alpha_{ок} = 0.6$. Характерные временные параметры ($\tau_{з.в.}$, τ_{01} , τ_{09}) определялись по экспериментальным зависимостям давления p_{ex}^0 , p_{ex}^2 в магистралях компонентов на входе в сопло $p_k(\tau)$ а также записей напряжения $U_{кл}(\tau)$ и токов $J_{кл}^0(\tau)$ и $J_{кл}^r(\tau)$ на управляющих клапанах в процессе включения и выключения ЖРДМТ (все перечисленные параметры показаны на рис. 1). При получении информации о динамике процессов в камере сгорания ЖРДМТ при импульсных режимах включения основная проблема заключалась в обеспечении высоких динами-

ческих характеристик используемых средств измерения, причем в целях обеспечения достоверности желательно одновременное использование не менее двух независимых каналов измерений. В качестве таких каналов в данном исследовании использовался канал измерения давления в камере сгорания и канал измерения тяги с помощью активного тягомера. Принцип измерения тяги активным тягомером основан на измерении силового воздействия струи на ловушку, помещаемую в эту струю. За счет снижения массы звена-преобразователя (в данном случае это жесткая мембрана, непосредственно воспринимающая силовое воздействие струи) достигается высокая собственная частота измерительного канала – порядка одного килогерца.

Характерные результаты на примере импульсного включения ЖРДМТ тягой 10Н с длительностью командного сигнала $\tau_k=0.05$ с показаны на рис. 1 и, в основном, сводятся к следующему:

- начало открытия клапанов происходит через 5 мс после подачи на них управляющего напряжения; сразу после начала открытия клапанов начинаются процессы движения компонентов по магистралям (это хорошо фиксируется по показаниям датчиков давления p_{ex}^0 , p_{ex}^2 , рис. 1) и заполнение заклапанных полостей; время полного открытия клапанов составляет 2 мс; таким образом, через 7 мс после подачи управляющего напряжения клапаны переходят в полностью открытое состояние;

- через 2 мс после полного открытия клапанов начинается повышение давления в камере сгорания; таким образом, динамиче-

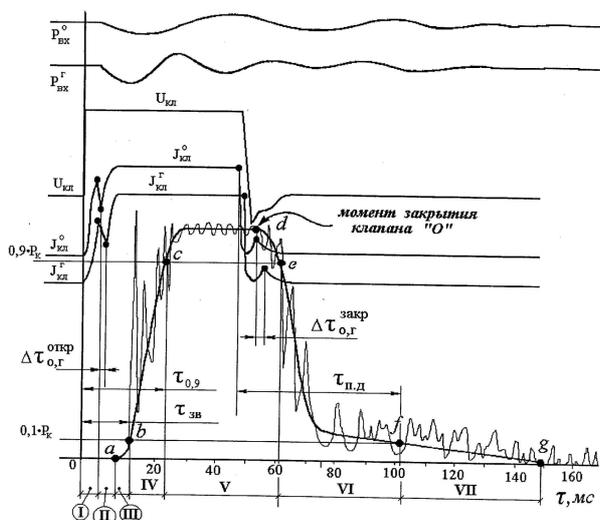


Рис. 1. Экспериментальная диаграмма для определения динамических параметров штатных ЖРДМТ (на примере ЖРДМТ 17Д58Э тягой 10 Н)

ские процессы, протекающие с момента начала открытия клапанов и включающие процессы открытия клапанов, заполнение заклапанных полостей и задержку воспламенения, занимают 4 мс; разновременность открытия и закрытия управляющих клапанов по линиям «О» и «Г» не обнаружена (в пределах точности экспериментального определения этих временных интервалов, равной 1 мс).

Излагаются результаты экспериментального исследования, относящиеся к переднему и заднему фронтам импульса (участки а–с и d–g на рис. 1), поскольку именно они определяют в основном процесс формирования загрязняющих компонент при включении и выключении ЖРДМТ. Детальное исследование, основанное на использовании активного тягомера, показало, что формирование переднего фронта импульса происходит в несколько стадий. Первая из этих стадий включает предпламенные процессы, которые длятся около 2 мс и приводят к линейному повышению давления в камере сгорания от начального, равного давлению в вакуумной камере, до уровня около $0,05 p_k$ (временной интервал а–b на рис. 1).

Следующие стадии связаны с процессами преобразования в высокотемпературные продукты сгорания компонентов топлива, находившихся в камере сгорания к мо-

менту их воспламенения. Эти процессы преобразования весьма динамичны, их характерное время не превышает 1..2 мс. Они имеют взрывной характер, при этом давление в камере сгорания может превышать номинальное в несколько раз, в результате чего прекращается подача топлива из-за отсутствия перепада на форсунках, в связи с чем происходит истечение образовавшихся продуктов сгорания и быстрое снижение давления в камере сгорания, характерное время которого составляет 1..2 мс. В результате резкого снижения давления в камере сгорания возрастает расход компонентов, образующих следующую порцию, которая также взрывообразно превращается в продукты сгорания. Исследование показало, что передний фронт импульса формируется за счет 3–4 подобных стадий «взрыв» – «истечение» (временной интервал b–c рис.1)

Для интервала времени, соответствующего спаду давления в камере сгорания можно выделить две стадии:

- первая стадия (участок «d–e» на рис. 1) связана с процессом горения компонентов топлива, поступающих из заклапанных полостей, а также части топлива, находящегося на стенке в виде жидкой пленки;

- вторая стадия (участок «e–g» на рис. 1) связана с процессом испарения жидкой пленки со стенки камеры сгорания и сопла.

Наличие жидкой пленки на стенках камеры сгорания и сопла вплоть до его среза является характерной особенностью работы исследуемых ЖРДМТ в импульсных режимах работы. Видимая часть пленки вблизи среза сопла представляет собой жидкость с коричневатым оттенком с очень низким давлением насыщенных паров, не превышающим $0,15 \text{ мм рт. ст.}$ Образование пленки на стенке ЖРДМТ объясняется и различие в форме первого и последующих импульсов. Это различие проявляется в более интенсивных «забросах» давления на переднем фронте при втором и последующих за ним импульсах. По этой же причине на первом импульсе величина расходного комплекса в среднем по серии включений несколько меньше (на 3...5%), чем на втором и последующих импульсах.