

Жариков Константин Игоревич

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ КОМПОНЕНТОВ В ТОПЛИВНЫХ БАКАХ РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме техногенного воздействия ракетно-космической техники на околоземное космическое пространство. Автором описана математическая модель процесса газификации жидких компонентов топлива в топливных баках ступеней ракет космического назначения, закончивших свою миссию. На основе предложенной математической модели составлена программа расчета процесса газификации. В статье представлены результаты расчета термодинамических параметров баков в процессе газификации компонентов топлива на примере схода первой ступени РН "Союз-2.1в".

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2014/7/18.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2014. № 7 (85). С. 68-71. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2014/7/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

УДК 629.7.064.2

Технические науки

Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме техногенного воздействия ракетно-космической техники на околоземное космическое пространство. Автором описана математическая модель процесса газификации жидких компонентов топлива в топливных баках ступеней ракет космического назначения, закончивших свою миссию. На основе предложенной математической модели составлена программа расчета процесса газификации. В статье представлены результаты расчета термодинамических параметров баков в процессе газификации компонентов топлива на примере схода первой ступени РН «Союз-2.1в».

Ключевые слова и фразы: математическая модель; газификация жидкости; топливные баки; тепло- и массообмен.

Жариков Константин Игоревич

Омский государственный технический университет

fgeorchids@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ КОМПОНЕНТОВ В ТОПЛИВНЫХ БАКАХ РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ[©]

Введение. В настоящее время актуальными являются вопросы оценки воздействия ракетно-космической техники (РКТ) на окружающую среду и околоземное космическое пространство (ОКП) на всех этапах ее создания и эксплуатации. Среди негативных последствий ракетно-космической деятельности отмечается техногенное и химическое загрязнение территорий в районах падения отделяющихся частей (ОЧ) ракет космического назначения (РКН) и выброса токсичных остатков компонентов жидких ракетных топлив [5, с. 17]. Также немаловажным является вопрос о снижении техногенного загрязнения используемых орбит ОКП крупногабаритным космическим мусором. Согласно нормативному акту [3], после выведения РКН полезной нагрузки на заданную орбиту, РКН и ее ОЧ должны быть удалены с рабочей орбиты, а жидкие компоненты топлива, находящиеся в топливных баках ОЧ, подлежат пассивации. В качестве пассивирующего устройства предлагается использование газогенерирующей системы (ГГС), способной генерировать газ с высокой температурой для газификации остатков компонентов топлива [5, с. 80].

Описание математической модели. Имеются методики [1; 6], в которых описаны процессы истечения и наддува топливного бака газом из аккумулятора давления. В настоящее время реализован способ наддува топливного бака «мятым» газом, снимаемым с турбины турбонасосного агрегата (ТНА). Но при таком способе наддува возникает проблема снижения температуры подаваемого газа вследствие протекания процессов испарения и конденсации топлива. За основу нижеописанной математической модели взяты уравнение баланса энергии газа и способы наддува топливных баков горячим газом, представленные в работах [Там же].

Основываясь на гипотезе квазистационарности процессов, протекающих в ГГС [6, с. 37], и предположении, что продукты газогенерации подчиняются уравнению состояния идеального газа [5, с. 159], можно записать уравнения состояния энергии для газа, заключенного в свободном объеме бака. В процессе газификации принимаются следующие допущения:

- происходит изотермический процесс истечения газа из ГГС в топливный бак;
- истечение газа из ГГС в топливный бак постоянно по времени;
- потерями на пути газовых магистралей пренебрегаем;
- температура испарения и удельная теплота парообразования компонентов топлива не изменяются;
- удельная теплоемкость, показатель адиабаты продуктов газогенерации и газа в «подушке» наддува топливного бака не изменяются.

Основываясь на уравнении баланса энергии для газа, находящегося в топливном баке, запишем [1]:

$$dQ = dU + dA, \quad (1)$$

где dQ – общее количество энергии; dU – изменение внутренней энергии газа; dA – работа, затрачиваемая газом в процессе газификации.

Изменение внутренней энергии газовой подушки и работы, затрачиваемой газом в процессе газификации в баке, выглядит следующим образом [Там же]:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{1}{k-1} \left(p \frac{dV}{dt} + V \frac{dp}{dt} - \frac{pV}{k-1} \frac{dk}{dt} \right), \quad (2)$$

$$\frac{dA}{dt} = p \frac{dV}{dt}. \quad (3)$$

Уравнение изменения количества энергии в результате протекающих процессов тепло-массообмена имеет вид [5, с. 163]:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ_{liquid}}{dt} + \frac{dQ_{bilge}}{dt} + \frac{dQ_{aeroHEAT}}{dt}, \quad (4)$$

где dQ_{liquid}/dt – теплообмен между генерируемым газом и компонентом топлива; dQ_{bilge}/dt – теплообмен между генерируемым газом и днищем бака; $dQ_{aeroHEAT}/dt$ – теплообмен за счет аэродинамического нагрева стенок бака:

$$\frac{dQ_{liquid}}{dt} = \alpha_{liquid} \frac{dF_{liquid}}{dt} \cdot (T - T_{liquid}); \quad (5)$$

$$\frac{dQ_{bilge}}{dt} = \alpha_{bilge} \frac{dF_{bilge}}{dt} \cdot (T - T_{bilge}); \quad (6)$$

$$\frac{dQ_{aeroHEAT}}{dt} = \alpha_{wall} \frac{dF_{wall}}{dt} \cdot (T - T_{wall}). \quad (7)$$

При сделанных допущениях получаем следующую систему уравнений:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{k-1}{V} \left(\frac{dQ}{dt} + i_{ggs} G_{ggs} + i_{isp} G_{isp} + i_{drain} G_{drain} \right); \quad (8)$$

$$\frac{dp}{dt} = \frac{k-1}{V} (G_{ggs} + G_{isp} + G_{drain}); \quad (9)$$

$$T = \frac{p}{\rho R}, \quad (10)$$

где V – объем газовой подушки; k – показатель адиабаты; i_{steam} , i_{ggs} , i_{drain} – энтальпия паров компонента топлива, генерируемого газа и дренажируемого газа, определяемая как

$$i_n = \frac{k}{k-1} R_n T_n; \quad (11)$$

G_{steam} , G_{ggs} , G_{drain} – массовый расход испаряющегося компонента топлива, генерируемого газа и газа, проходящего через дренажно-предохранительный клапан (ДПК):

$$G_n = \mu f_n \frac{p_n}{\sqrt{T_n}} \sqrt{\frac{k+1}{R_n} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{k-1}}. \quad (12)$$

Результат моделирования процесса газификации. На Рис. 1, 2 приведены результаты решения системы дифференциальных уравнений, записанных для топливных баков. За исходные данные были взяты параметры циклограммы 1-й ступени РН «Союз-2.1в» на пассивном участке полета и параметры ГГС [3], представленные в Таблице 1 и Таблице 2.

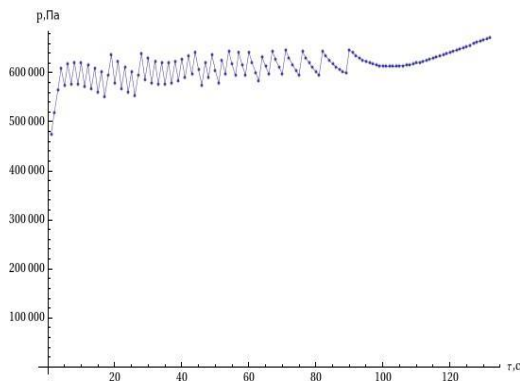
Таблица 1. Параметры циклограммы полета

Наименование параметра	Бак «Г»*	Бак «О»**
Высота спуска ОЧ, км	292,5	
Время спуска, с	284	
Объем топливного бака, м ³	25,5	38,4
Компоненты топлива	Керосин	Кислород
Температура в баке на момент остановки двигателя, К	280	92
Давление наддува в баке, МПа	0,25	0,475
Масса остатков компонентов топлива, кг	420	900
Давление срабатывания ДПК, МПа	0,45	0,6

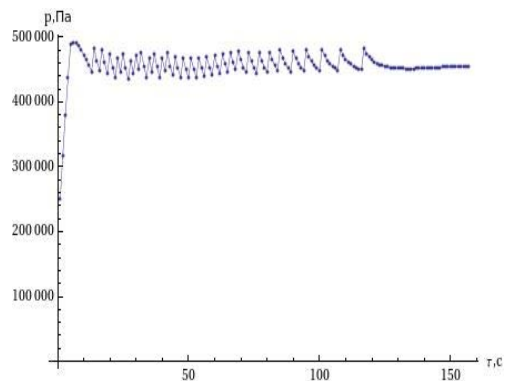
Примечание: * – топливный бак горючего; ** – топливный бак окислителя.

Таблица 2. Параметры газогенерирующей системы

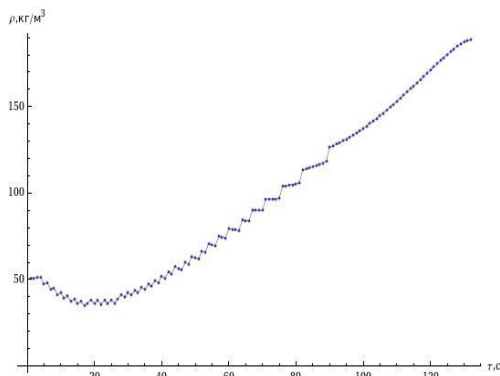
Наименование параметра	Бак «О»	Бак «Г»
Газогенерирующая композиция	Пероксид водорода	Смесь: октоген 55%, алюминий 22%, активное связующее 15%, перхлорат аммония 10%
Давление генерируемого газа, МПа	0,5	0,5
Расход генерируемого газа, кг/с	0,597	0,508
Газовая постоянная, Дж/кг·К	367	417
Температура на выходе из ГГС, К	2031	1616



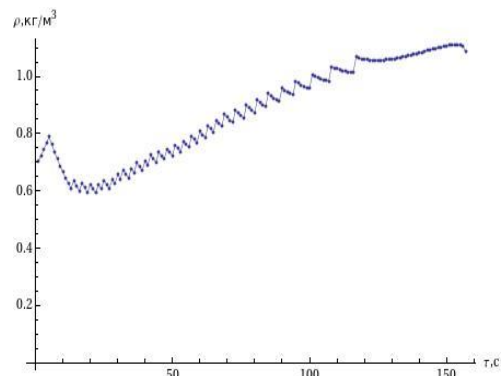
а) Изменение давления по времени



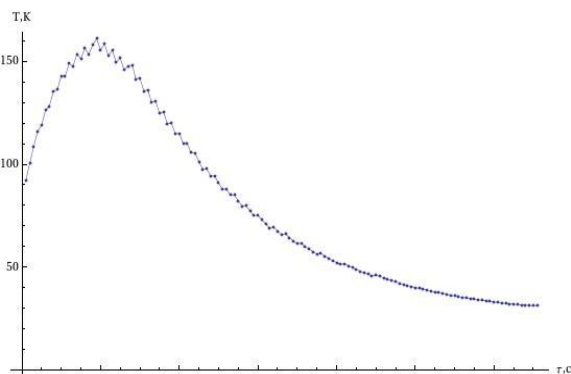
а) Изменение давления по времени



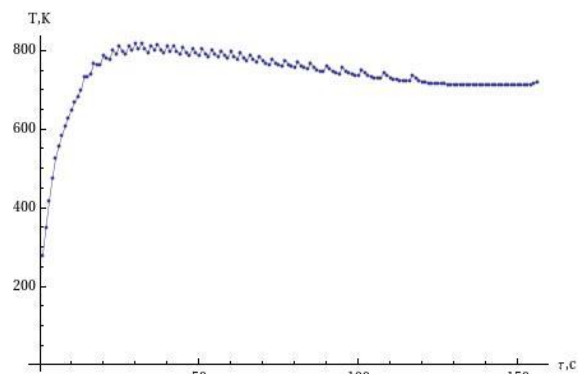
б) Изменение плотности по времени



б) Изменение плотности по времени



в) Изменение температуры по времени



в) Изменение температуры по времени

Рис. 1. Результаты расчета для бака «О»

Рис. 2. Результаты расчета для бака «Г»

Заключение. На основе решения системы дифференциальных уравнений первого закона термодинамики, записанных для ГГС и топливного бака, была разработана математическая модель процессов газификации остатков жидких компонентов топлива в баке, которая позволяет в любой момент времени определять параметры системы газификации.

Список литературы

1. Белькова М. Е. Газификация жидких остатков компонентов ракетных топлив: газогенерирующие композиции // Молодежь. Техника. Космос: труды VI Общерос. молод. науч.-техн. конф. СПб., 2014. С. 14-15.
2. Беляев Н. М. Системы наддува топливных баков ракет. М.: Машиностроение, 1976. 336 с.
3. ГОСТ Р 52925-2008. Изделия космической техники. М.: Стандартинформ, 2008.
4. Трушляков В. И., Шалай В. В., Шатров Я. Т. Снижение техногенного воздействия ракетных средств выведения на жидких токсичных компонентах ракетного топлива на окружающую среду: монография / ред. В. И. Трушляков. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2004. 220 с.
5. Челомей В. Н. Пневмогидравлические системы двигательных установок с жидкостными ракетными двигателями. М.: Машиностроение, 1978. 240 с.
6. Шишков А. А., Румянцев Б. В. Газогенераторы ракетных систем. М.: Машиностроение, 1981. 152 с.

**MATHEMATICAL MODEL OF COMPONENTS GASIFICATION
PROCESS IN FUEL TANKS OF SPACE ROCKETS**

Zharikov Konstantin Igorevich
Omsk State Technical University
freeorchids@mail.ru

The article is devoted to the currently topical problem of the technogenic impact of rocket-cosmic equipment on the near-Earth space. The author describes the mathematical model of fuel liquid components gasification process in the fuel tanks of the stages of the space rockets that have completed their mission. On the basis of the proposed mathematical model a program for gasification process calculation is worked out. The article presents the results of tanks thermodynamic parameters calculation during fuel components gasification process by the example of the turnoff of the first stage of the carrier rocket "Soyuz-2.1V".

Key words and phrases: mathematical model; liquid gasification; fuel tanks; heat and mass exchange.

УДК 531

Физико-математические науки

Работа посвящена анализу влияния материала реологической балки на динамику движущегося диска. Составлена гибридная система дифференциальных уравнений, описывающих движение системы «диск, реологическая балка» и состоящих из интегродифференциального уравнения продольных колебаний балки и уравнений Лагранжа первого рода, определяющих движение диска. Рассмотрены режимы равномерного и равноускоренного движения диска.

Ключевые слова и фразы: неголономная связь; функция Дирака; ядро релаксации; преобразование Лапласа; метод Фурье; реологическая балка.

Кальмова Мария Александровна

Самарский государственный архитектурно-строительный университет
kalmova@inbox.ru

**ВЛИЯНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ТЕЛА
КЕЛЬВИНА НА ХАРАКТЕР ДВИЖЕНИЯ ДИСКА[©]**

Как известно [1-5], при движении тела вращения по стержню, связанному с абсолютно жестким основанием, исключаяющим поперечные колебания, в стержне возникают продольные деформации, величина которых зависит от податливости материала стержня. В работе [1] была, в частности, поставлена задача о плоском движении диска по стержню на жестком основании с учетом продольных деформаций стержня.

Задача об устойчивости движения диска на релаксирующем основании тела Кельвина также решалась в работах авторов [3; 5], где моделями основания были деформируемое вязкоупругое полупространство, работающее на растяжение – сжатие [3], или балка с распределенной массой, совершающая продольные колебания, вызываемые движением диска [5]. Но, материал которого моделируется релаксационным телом Кельвина, на динамику диска (Рис. 1).

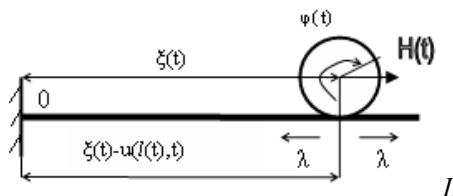


Рис. 1

Положение диска определим Лагранжевими координатами $\xi(t)$ и $\varphi(t)$, $u(x,t)$ – абсолютная деформация определенной части стержня. Лагранжеву координату точки касания диска обозначим через $l(t)$, определенную геометрическим соотношением

$$\xi(t) = l(t) + u(l(t), t). \quad (1)$$

Из (1) и равенства $\dot{\xi}(t) = R\dot{\varphi}$ вытекает соотношение