

Мы предполагаем использовать выборку снимков, охватывающую большой временной промежуток, для поиска переменных звезд с большими периодами в данном поле.

В результате проведенной работы получен наблюдательный материал, выбрана и апробирована на практике методика поиска переменных звезд в условиях города, выявлено и исследовано восемь новых переменных звезд: определены типы переменности, периоды изменения блеска, максимумы и минимумы, начальные эпохи. В дальнейшем методика, описанная выше, будет использоваться для поиска новых переменных звезд в обсерватории СибГАУ.

#### Библиографические ссылки

1. Новые переменные звезды на оцифрованных пластинках московской фототеки. Поле 66 Змееносца / Д. М. Колесникова, Л. А. Сат, К. В. Соколовский и др. *Астрономический журнал*. 2010. Т. 87, № 11. С. 1087–1105.
2. Миронов А. В. Прецезионная фотометрия [Электронный ресурс]. URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1211924>.

3. C-MUNIPACK, Package of software utilities for reducing astronomy CCD images intended on a observation of variable stars [Электронный ресурс]. URL: <http://c-munipack.sourceforge.net/>.

4. Общий каталог переменных звезд [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sai.msu.ru/groups/cluster/gcvs/cgi-bin/search.htm>.

5. The International Variable Star Index [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aavso.org/vsx/index.php>.

6. Горанский В. П. WinEfK. Программа поиска периодов переменных звезд (методы Лафлера–Кинмана, Диминга, построения кривых блеска и т. д.) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.variablestars.ru/FILES/winefk.rar>.

7. Классификация переменных звезд в соответствии с IV изданием ОКПЗ [Электронный ресурс]. URL: [http://variablestars.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=72&Itemid=61#5](http://variablestars.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=72&Itemid=61#5).

8. Гофмейстер К., Рихтер Г., Венцель В. *Переменные звезды* : пер. с нем., М., 1990.

9. Самусь Н. Н. *Переменные звезды* : учеб. пособие [Электронный ресурс]. URL: <http://heritage.sai.msu.ru/ucheb/Samus/>.

S. A. Veselkov, E. G. Lapukhin, N. N. Samus

#### EIGHT NEW ECLIPSING BINARY SYSTEMS IN CASSIOPEIA

*Despite closely located industrial enterprises, cultural and sports facilities, the never-freezing Yenisei, a brisk avenue with its illumination, we were able to discover and study eight new eclipsing binary system in Cassiopeia using observations acquired at the new SibSAU observatory.*

*Keywords: variable star, eclipsing binaries system, astronomy, photometry, observation.*

© Веселков С. А., Лапухин Е. Г., Самусь Н. Н., 2011

УДК. 621.454.2

А. Г. Воробьев, И. Н. Боровик, С. Ха

#### РАЗРАБОТКА ЖИДКОСТНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ МАЛОЙ ТЯГИ, РАБОТАЮЩЕГО НА ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА И КЕРОСИНЕ

*Дается описание конструкции жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) малой тяги, работающего на перекиси водорода и керосине. Приведены основные технические характеристики, представлены результаты гидравлических испытаний.*

*Ключевые слова: ЖРД малых тяг, перекись водорода.*

Использование высококонцентрированной перекиси водорода (ВПВ) в ракетных двигателях как монотоплива началось в 30-х гг. 20 в. в Германии. Это направление активно используется до настоящего времени в двигателях РД-107, РД-108 и их последующих модификациях на ракетносителях (РН) «Восток», «Союз» и другие. Дальнейшие разработки ракетных двигателей различного назначения с использованием ВПВ как монотоплива, а также двух-

компонентного топлива ВПВ + керосин продолжают в настоящее время [4; 5].

К новым задачам относится разработка ЖРД тягой 500 Н, работающего на компонентах ВПВ и керосине, которая осуществлялась по контракту между Московским авиационным институтом (МАИ) и Чунгнамским национальным университетом (Южная Корея). Решение этой задачи базировалось на опыте создания в МАИ на кафедре «Ракетные двигатели» жидкостного ракетного двигателя (ЖРДМТ) с тягой 200 Н [1–3].

Разработка нового двигателя являлась итерационным процессом. Первоначально получены основные параметры двигателя (давление в камере сгорания  $p_K$ , соотношение компонентов  $J_{уд}$ , расходы компонентов  $\dot{m}_O$ ,  $\dot{m}_Г$ ), построен газодинамический профиль камеры сгорания и сопла, рассчитаны параметры смесеобразования (число форсунок, относительный расход на завесу  $\bar{m}_{зав}$ ).

С использованием математической модели теплового состояния камеры сгорания [6] было рассчитано ожидаемое температурное поле конструкции КС и ожидаемый удельный импульс двигателя  $J_{уд}$ .

**Конструкция двигателя.** В двигателе малой тяги (ДМТ) МАИ-500ВПВК (рис. 1) сопло присоединяется

к камере сгорания с помощью аргоно-дуговой сварки (рис. 2).

На внешней стенке критического сечения сопла имеется местное утолщение (пояс) необходимое для обеспечения требуемого теплового режима.

Камера сгорания присоединяется к смесительной головке с помощью болтового соединения по фланцам и уплотняется через уплотнительное кольцо из медного сплава МЗМ. Все составные части камеры сгорания, кроме фланца, изготавливаются из сплава ХН60ВТ или их аналога по теплофизическим свойствам. Фланец камеры сгорания изготавливается из стали 12Х18Н10Т.

Основные технические характеристики двигателя представлены в таблице.

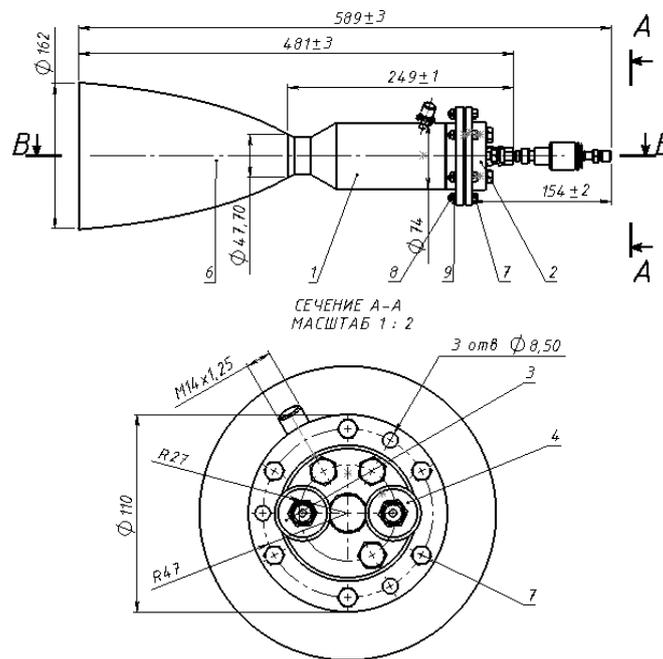


Рис. 1. Вид двигателя 500ВПВК:  
1 – камера сгорания; 2 – смесительная головка; 3 – штуцер подвода горючего;  
4 – штуцер подвода окислителя; 6 – сопло; 7, 8, 9 – крепеж

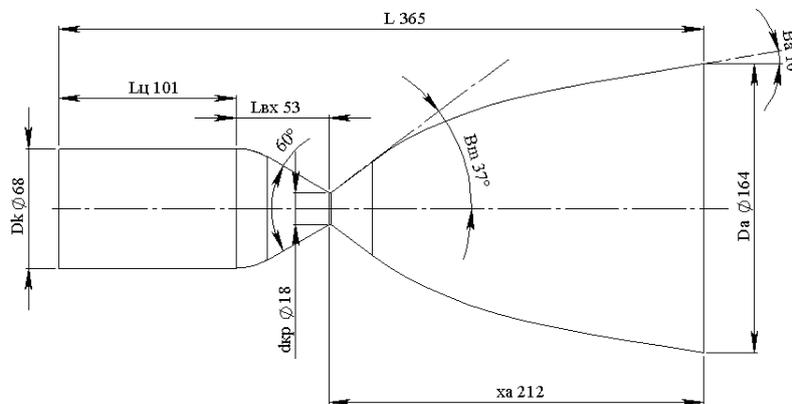


Рис. 2. Газодинамический профиль камеры сгорания и сопла

## Технические характеристики двигателя ДМТ МАИ–500ВПВК

Параметр	Значение
Компоненты топлива	96 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + керосин
Тяга двигателя	500 Н
Максимальная длительность включения	90 с
Удельный импульс в вакууме	≥ 290 с
Давление в камере сгорания	≈ 1 Мпа
Степень расширения сопла по давлению	1 000
Минимальная длительность импульса	50 мс
Суммарная масса	≤ 2,5 кг
Длина двигателя	≤ 350 мм
Давление на входе в клапаны	Не более 1,5 Мпа
Напряжение электропитания клапанов	27±3 в
Год разработки	2008–2010

**Конструкция смесительной головки.** Для проведения исследовательских работ, связанных с оптимизацией смесеобразования и воспламенения несамовоспламеняющихся компонентов топлива выбирают тип и количество смесительных элементов, схемы их расположения на плоскости форсуночной головки, организацию завесного охлаждения, способ и конструктивное оформление системы воспламенения топливной композиции и др.

Смесительная головка была сделана съемной. В головке предусмотрены регуляторы для распределения компонентов топлива в форсунки на центральную зажигательную часть и завесу.

Основной проблемой организации рабочего процесса в ЖРДМТ является малый объем камеры сгорания, в котором трудно совместить качественный распыл и смешение компонентов с не менее качественной защитой стенок от высокотемпературных продуктов сгорания. Равномерное распределение компонентов топлива по сечению камеры сгорания реализуется при большом количестве смесительных элементов. Однако для ЖРДМТ нецелесообразно снижать расход на одну ступень форсунки ниже 2 г/с, так как при малых размерах проточной части форсунки погрешности технологических процессов изготовления начинают существенно влиять на ее характеристики. Форсунка горючего является внутренней ступенью, а форсунка окислителя – внешней ступенью. Исходя из этих соображений в качестве основного варианта была выбрана семифорсуночная головка с двухкомпонентными центробежными форсунками, с центральной форсункой-зажигателем.

Система зажигания основана на разложении ВПВ на твердом катализаторе с последующим впрыском керосина в продукты разложения.

Общий вид смесительной головки показан на рис. 3.

Соединение пластин (рис. 4) с соответствующей герметизацией полостей окислителя и горючего выполняется посредством пайки по шаблонам в вакууме. В процессе изготовления двигателя применена технология пайки пластин, исключающая затекание припоя

в подводящие к камерам закручивания малоразмерные тангенциальные каналы центробежных форсунок. Ввиду технологических ограничений форсунки горючего сделаны составными.

Пластинчатые головки имеют очевидные преимущества по сравнению с другими конструкциями:

1) обладают малым объемом заклапанных полостей, что обеспечивает лучшие динамические качества двигателя;

2) реализуется упрощенная технология изготовления двухкомпонентных центробежных форсунок, обычно по схеме 1+6; 1+6+12;

3) обеспечивается надежная герметичность полостей О и Г, благодаря технологии пайки в вакууме;

4) сравнительно просто обеспечивается организация низкоперепадной завесы.

Были проведены технологические испытания головки с целью проверки технологии пайки и прочности припоя форсунок.

После пайки полученный блок пластин испытывается на герметичность, затем вставлялся в корпус головки и приваривался по краю (рис. 5).

**Гидравлические испытания.** Во время гидравлических испытаний, которые осуществлялись на стендах МАИ, проверялись герметичность между пластинами головки, качество изготовления смесительных элементов, отсутствие запаянных каналов в результате пайки пластин, полная функциональность регуляторов расходов компонентов, а также получали расходные характеристики ступеней форсунок, завесы и гидроопрессовки двигателя перед огневыми испытаниями.

Результаты использовались для дальнейшей настройки огневого стенда на проектные значения соотношения компонентов, суммарного расхода и оптимизации расхода окислителя на завесное пленочное охлаждение.

Для расчета расходов компонентов на каждой форсунке и расхода на завесу посегментно было спроектировано и изготовлено специальное устройство.

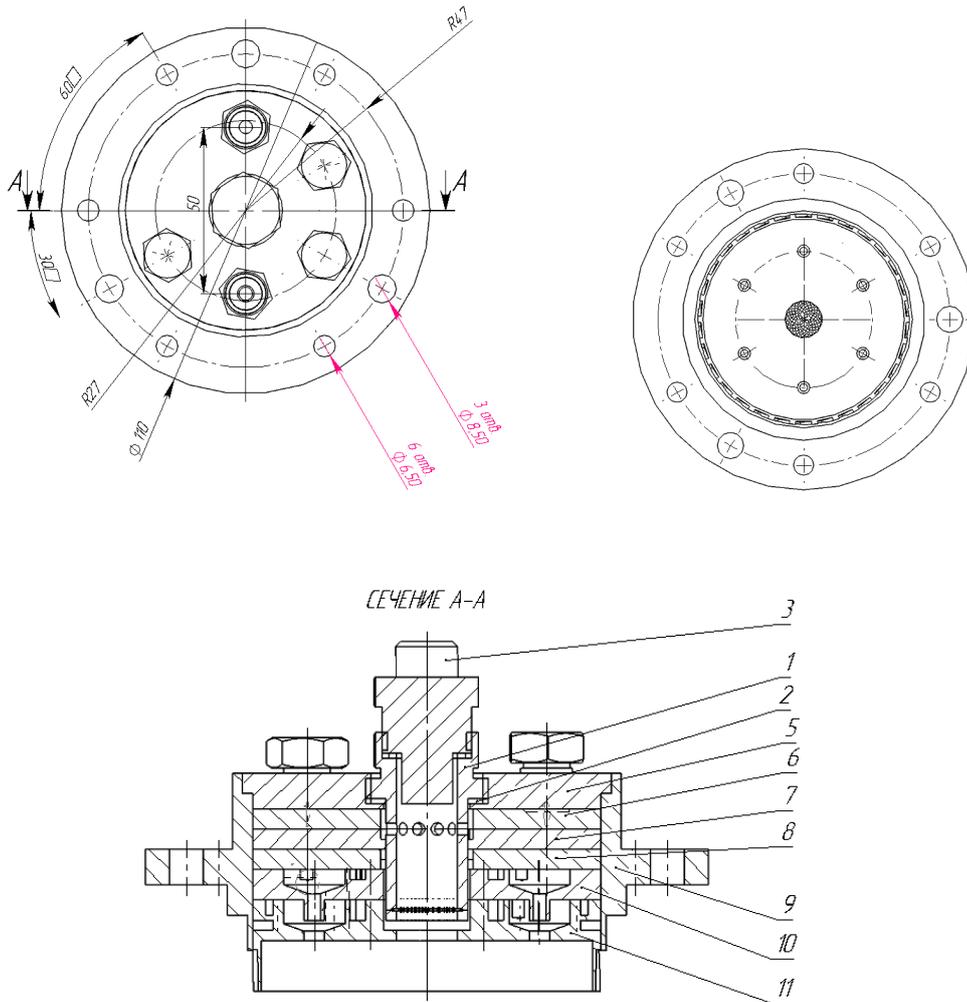


Рис. 3. Конструкция смесительной головки ЖРД МТ:

1 – устройство зажигания; 2 – уплотнение на устройстве зажигания; 3 – входные штуцеры; 5 – крышка; 6 – распределительная пластина; 7 – распределительная пластина окислителя; 8 – распределительная пластина горючего; 9 – корпус головки; 10 – пластина горючего; 11 – пластина окислителя (системы регулирования расхода на завесу и системы регулирования компонентов на рис. не показаны)



Рис. 4. Набор пластин для форсуночной головки



Рис. 5. Камера сгорания и головка двигателя ДМТ МАИ-500ВПВК

Это дало возможность получить функциональные зависимости между величинами входных давлений и соответствующих расходов компонентов топлива:

$$\dot{m}_{e_i} = f(p_{ex,e}); \quad \dot{m}_{o_i} = f(p_{ex,o}),$$

где  $\dot{m}_{e_i}$ ,  $\dot{m}_{o_i}$  – расходы горючего и окислителя для каждой форсунки;  $p_{ex,e}$ ,  $p_{ex,o}$  – входные давления горючего и окислителя.

На форсунки внутреннего смешения при совместной работе ступеней оказывает влияние расходные характеристики индивидуально работающих ступеней. Поэтому проливаются как отдельно работающие ступени форсунок окислителя и горючего, так и вся головка при совместной их работе.

Качество распыла смесительной головки было оценено с помощью экспериментальной установки на базе анализирующего прибора Malvern Spraytec, состоящего из смесительной головки ЖРДМТ, системы подачи компонента в смесительную головку ЖРДМТ, устройства сбора распыленного компонента и самого прибора (рис. 6, 7). Анализирующий прибор «Malvern Spraytec» представляет собой оптическую измерительную систему, реализующую эффект дифракции света на каплях распыленной жидкости.



Рис. 6. Испытания распыла головки двигателя ДМТ МАИ-500 на анализаторе Malvern Spraytec: 1 – вентиль подачи О; 2 – вентиль подачи Г; 3 – система измерения давления в магистралях подачи и расходов; 4 – закрепленная смесительная головка



Рис. 7. Испытания распыла головки двигателя ДМТ МАИ-500 на анализаторе Malvern Spraytec

Были проведены комплексные испытания, в результате которых получены данные о качестве распыла для различных режимов работы головки (рис. 8). Полученные результаты соответствуют теоретическим представлениям о зависимости мелкости распыла от геометрических характеристик форсунок и параметров режима работы.

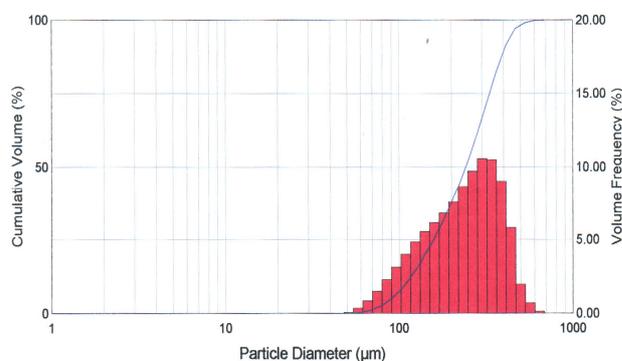


Рис. 8. Результаты распыла компонентов для смесительной головки двигателя ДМТ МАИ-500 на анализаторе Malvern Spraytec

Таким образом, спроектирован и произведен ЖРДМТ тягой 500 Н, работающий на компонентах высококонцентрированной перекиси водорода и керосине.

Проведены гидравлические испытания смесительных головок. Определены расходные характеристики форсунок по линии окислителя и горючего.

По результатам гидравлических испытаний выбраны рабочие параметры смесеобразования, являющиеся основой для программы огневых испытаний.

#### Библиографические ссылки

1. Козлов А. А., Абашев В. М. Расчет и проектирование жидкостного ракетного двигателя малой тяги. М.: МАИ, 2003.
2. Kozlov A. A., Abashev V. M., Hinckel J. N. Organization of the working process in the small thrust engine LRESTh MAI-200 // 52-nd International Astronautical Congress (October 1–5, 2001) Toulouse, France.
3. Kozlov A. A., Abashev V. M., Mordovin V. Z. The development of thrusters with lamellar mixing head, guaranteed high combustion efficiency of propellant // Chinese-Russian-Ukrainian workshop on space propulsion (September 17–19, 2002). Xian, China.
4. Kozlov A. A., Abashev V. M., Mordovin V. Z., Basanova I. A. Investigation of the working process in liquid rocket engine of small thrust at high concentration hydrogen peroxide with kerosene or alcohol with catalyst // Chinese-Russian-Ukrainian workshop on space propulsion (September 17–19, 2002). Xian, China.
5. Зрелов В. Н., Серегин Е. П. Жидкие ракетные топлива. М.: Химия, 1975.
6. Воробьев А. Г. Математическая модель теплового состояния ЖРД МТ // Вестник МАИ. 2007. Т. 14, № 4. С. 42–49.

A. G. Vorobiev, I. N. Borovik, S. Ha

**DEVELOPING LRE OF LOW THRUST USING PROPELLANTS:  
STRONG HYDROGEN PEROXIDE WITH KEROSENE**

The paper is devoted to development of liquid rocket engine of low thrust which expends propellants: strong hydrogen peroxide with kerosene. The paper includes technical description of the engine, the main engine parameters and results of hydraulic test.

Keywords: LRE of low thrust, strong hydrogen peroxide.

© Воробьев А. Г., Боровик И. Н., Ха С., 2011

УДК 621.45 – 181.4:629.78

М. В. Краев

**РАСЧЕТ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕЙ РЕШЕТКИ  
ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА\***

С учетом конструктивных особенностей проточной части рабочей решетки центробежного насоса проанализировано обтекание профилей лопаток потока вязкой жидкости. Выполнен гидродинамический расчет параметров рабочей решетки.

Ключевые слова: гидродинамика, центробежный насос, поток, профиль, лопатка, рабочая решетка, пограничный слой.

Входные кромки лопаток рабочего колеса (РК) центробежного насоса (ЦБН) оказывают подтормаживающее действие на поток, а, следовательно, его формирование. Пограничные слои, образующиеся на поверхностях входной кромки, не только управляются потоком, но и оказывают на него обратное влияние через толщину вытеснения  $\delta^*$  и потери импульса  $\delta^{**}$  (рис. 1). Для определения этого влияния рассмотрим составляющие сил, действующих на входную кромку лопатки и их удельный вклад в баланс потерь энергии при течении вязкой жидкости в рабочей решетке ЦБН.

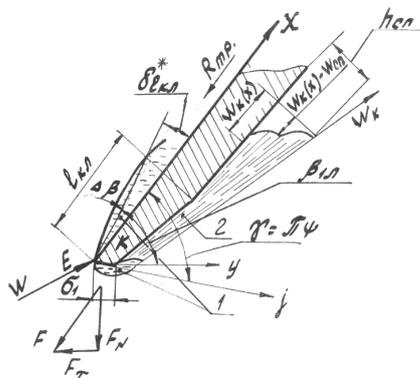


Рис. 1. Расчетная схема обтекания входной кромки лопатки потоком вязкой жидкости:  
1 – ламинарный пограничный слой; 2 – спутное течение

Выражение для касательного напряжения  $\tau$  на ограничивающих поверхностях рабочей решетки РК определим, воспользовавшись табличной функцией  $f_2(x)$  работы [1]:

$$f_2(x) = \frac{\delta_z^{**} \cdot \tau_0}{\nu \rho W_{(x)}} \tag{1}$$

Согласно [1] скорость потенциального течения в ядре потока в решетке профилей можно записать в виде

$$W_{(j)} = C j^m, \tag{2}$$

где  $C$  и  $m$  – постоянные величины, здесь

$$m = \frac{\Psi}{2 - \Psi} = \frac{\gamma}{2\pi - \gamma} \tag{3}$$

При формировании входной кромки лопатки, совместимой с осью  $Y$  ( $\gamma = \beta_{1л}$ ),

$$m = \frac{\beta_{1л}}{2\pi - \beta_{1л}} \tag{4}$$

Для лопатки на расстоянии, равном  $\sigma_1$ , от входной кромки, при  $j = \sigma_1$ ;  $W_{(j)} \approx W_k$  имеем

$$C = \frac{W_k}{\sigma_1^m}, \tag{5}$$

и выражение (2) получим в виде

$$W_{(j)} = \frac{W_k}{\sigma_1^m} j^m \tag{6}$$

\*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» (ГК № П231 от 23.04.2010).