

УДК 621.454.2-181.4

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ АДАПТАЦИИ ЖРДМТ РАЗРАБОТКИ ФГУП «НИИМАШ» ПОД ТОПЛИВНУЮ ПАРУ MON-3 + ММН С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

©2011 Ю. А. Бешенев, С. А. Булдашев, Ф. А. Казанкин, Н. В. Лемский, Е. В. Семкин

Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательской институт машиностроения» (ФГУП «НИИМаш»), г. Нижняя Салда

В статье приводится сравнение результатов огневых испытаний двигателей разработки и изготовления ФГУП «НИИМаш» на топливах MON-3 + ММН и АТ + НДМГ и информация по тепловому состоянию двигателей на этих огневых испытаниях.

*ЖРДМТ, огневые испытания, MON-3, ММН, АТ, НДМГ, удельный импульс тяги, тепловое состояние.*

Одним из основных препятствий для успешного международного сотрудничества в области ракетного двигателестроения является различие применяемых топливных пар. Так, в российской космонавтике наибольшее применение нашла топливная пара АТИН+НДМГ, а за рубежом MON-3+ ММН.

С целью подтверждения работоспособности двигателей на топливе MON-3+ММН были проведены огневые испытания двигателей разработки и изготовления ФГУП «НИИМаш» 11Д458М тягой 392 Н и 11Д428А–16 тягой 130 Н.

Указанные двигатели спроектированы под топливо АТИН+НДМГ и уже несколько лет проходят лётную эксплуатацию в составе разгонных блоков серии «Бриз», транспорт-

ных кораблей серии «Прогресс» и пилотируемых кораблей серии «Союз». Оба двигателя имеют общий принцип смесеобразования - соосные центробежные форсунки окислителя и горючего с периферийными струйными форсунками окислителя. И оба двигателя имеют сопло из ниобиевого сплава Н65В2МЦ.

Результаты огневых испытаний двигателей 11Д458М и 11Д428А–16 на топливе АТ+НДМГ приведены на рис.1 и 2.

Для обеспечения равнообъёмного расхода компонентов топлива (массовое соотношение компонентов топлива  $K_m=1,65$ ) перед огневыми испытаниями на топливе MON-3+ММН на двигателях были заменены жиклеры.

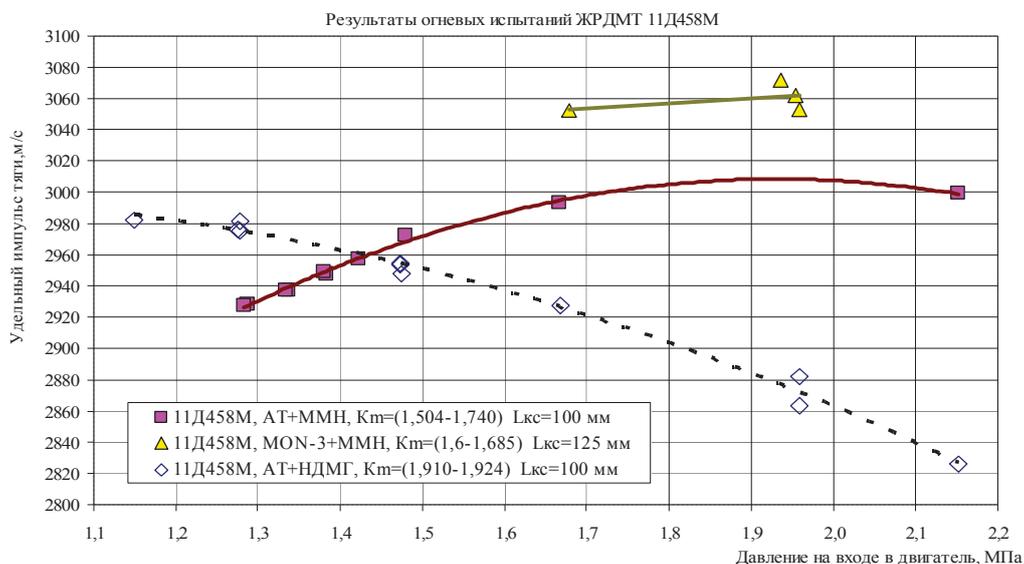


Рис. 1. Зависимость удельного импульса тяги двигателя 11Д458М от давления компонентов топлива на входе в двигатель по результатам огневых испытаний на топливах MON-3+ММН и АТ+НДМГ

Двигатель 11Д458М (у которого длина камеры сгорания 100 мм) при первом огневом испытании на топливе MON-3+ММН имел относительно низкую температуру камеры сгорания и удельный импульс тяги порядка 2950 м/с (см. рис. 1). В связи с этим посредством несложных конструкторских

доработок длина камеры сгорания была увеличена до 125 мм. По результатам огневых испытаний двигателя 11Д458М с длиной камеры сгорания 125 мм на топливе MON-3+ММН удельный импульс тяги составил более 3050 м/с (рис. 1).

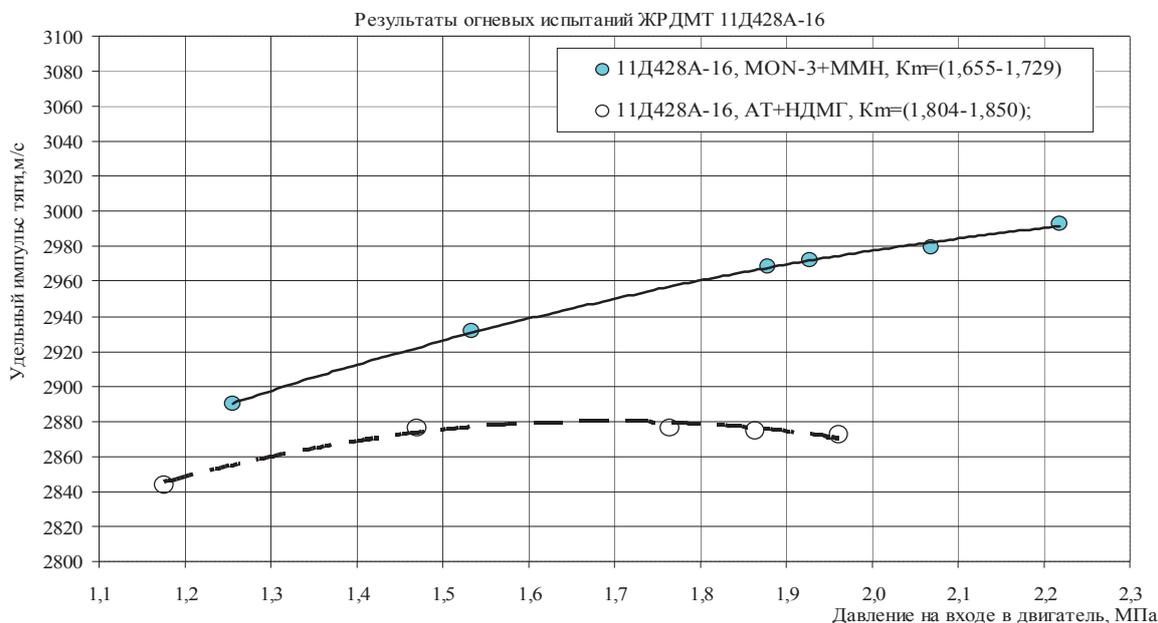


Рис. 2. Зависимость удельного импульса тяги двигателя 11Д428А-16 от давления компонентов топлива на входе в двигатель по результатам огневых испытаний на топливах MON-3+ММН и АТ+НДМГ

Удельный импульс тяги двигателей 11Д458М и 11Д428А-16 для топлива MON-3+ММН оказался выше, чем при работе на топливе АТ+НДМГ (рис. 1 и 2).

Огневыми испытаниями проходили в земных условиях. Применяемый на этих испытаниях окислитель АТ (тетраоксид диазота) по энергетическим свойствам эквивалентен таким окислителям как АТИН (тетраоксид диазота ингибированный) и MON-3.

Анализируя все режимы испытаний на топливе MON-3 + ММН, можно отметить, что максимальная температура наружной стенки камеры сгорания двигателя 11Д458М составила 1394°С (рис. 3), двигателя 11Д428А-16 – составила 1251°С (рис. 4), в то время как допустимая температура, обеспечивающая гарантированную работоспособность ниобиевой камеры сгорания, составляет 1450°С.

При работе на топливе АТ+НДМГ максимальная температура наружной стенки камеры сгорания двигателя 11Д458М составила 1319°С, а двигателя 11Д428А-16 – 1144°С.

При работе на топливе АТ+НДМГ интенсивно нагреваются те области, куда падают струи окислителя (в качестве примера на рис. 5 и рис. 6 приведены съёмки термовизора), а при работе этих же двигателей

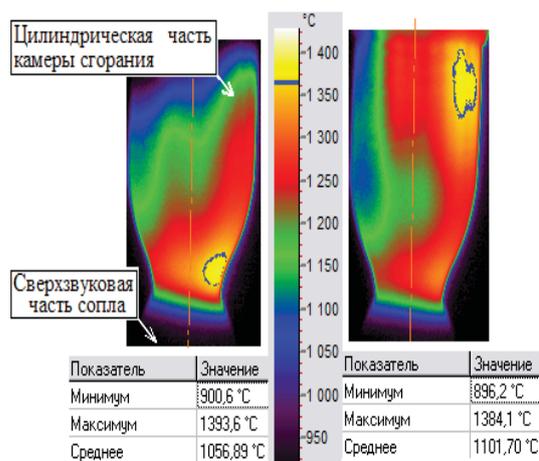


Рис. 3. Распределение температур по наружной стенке камеры сгорания двигателя 11Д458М на 26 секунде (слева) и 72 секунде (справа) огневых испытаний на топливной паре MON-3+ММН (с указанием изотермы 1365 °С)

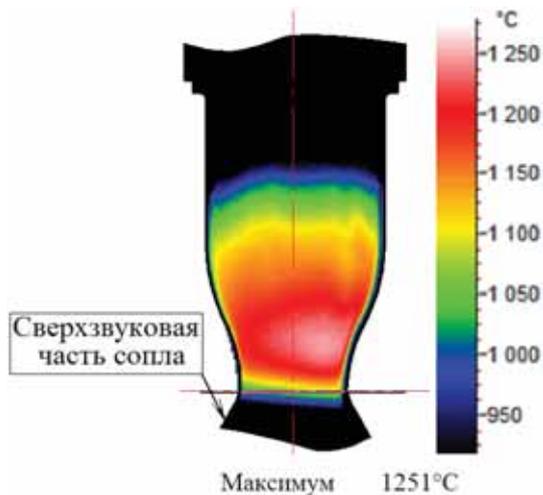


Рис. 4. Распределение температур по наружной стенке камеры сгорания двигателя 11Д428А-16 при огневых испытаниях на топливной паре MON-3+ММН

на топливе MON-3+ММН эти области в первые секунды режима имеют относительно низкую температуру стенки, и только при выходе на режим по тепловому состоянию на двигателе 11Д458М наблюдалось повышение температуры на цилиндрическом участке камеры сгорания (рис. 3). Это различие по температуре требует дополнительных исследований.

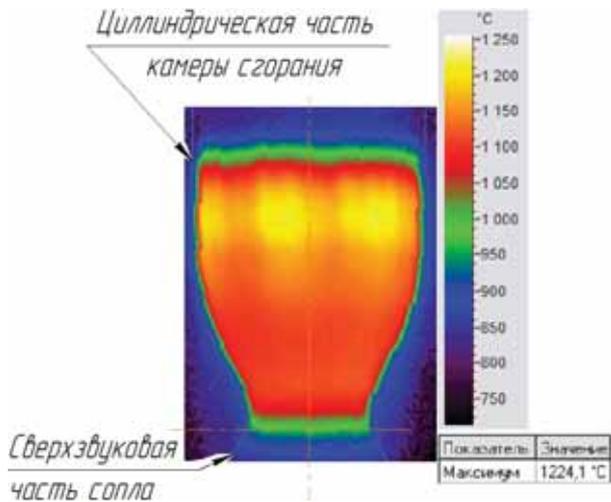


Рис. 5. Распределение температур по наружной стенке камеры сгорания двигателя 11Д458М при огневых испытаниях на топливной паре АТ+НДМГ

Тепловое состояние двигателей при работе на топливе MON-3 + ММН признано удовлетворительным.

Максимальное значение удельного импульса тяги двигателя 11Д458М с геометрической степенью расширения сопла  $\bar{F} = 100$  на топливе MON-3+ ММН в диапазоне массового соотношения компонентов топлива  $K_m = 1,60 \dots 1,685$  равнялось 3060 м/с. Если же комплектовать двигатель удлиненным соплом с геометрической степенью расширения  $\bar{F} = 250$  (как у зарубежных аналогов) то согласно расчету удельный импульс тяги возрастет до 3100...3119 м/с. Следовательно, двигатели ФГУП «НИИМаш» по энергетическим и экономическим параметрам могут составить конкуренцию зарубежным аналогам.

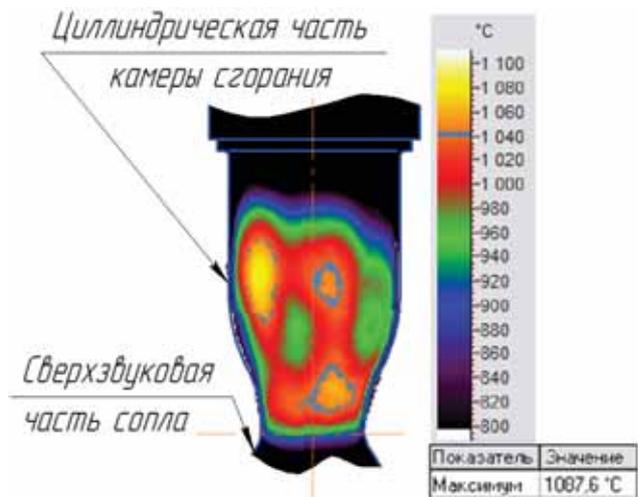


Рис. 6. Распределение температур по наружной стенке камеры сгорания двигателя 11Д428А-16 при огневых испытаниях на топливной паре АТ+НДМГ (с указанием изотермы 1040 °С)

Огневые испытания были подвергнуты двигатели без доработки и оптимизации рабочего процесса под топливо MON-3+ММН. Дальнейшее улучшение их энергетических характеристик может быть достигнуто за счет оптимизации рабочего процесса в камере сгорания с учетом физико-химических свойств монометилгидразина и без значительных изменений конструкции существующих двигателей.

**EXPERIMENTAL RESEARCHES OF POSSIBLE LOW-THRUST ROCKET  
ADAPTATION DEVELOPED BY FSUE R&DIME FOR BIPROPELLANT  
MON-3+MMH PROVIDING TOLERABLE THERMAL STATE THRUSTERS**

©2011 Yu. A. Beshenev, S. A. Buldashev, F. A. Kazankin, N. V. Lemskiy, Ye. V. Semkin

Federal State Unitary Enterprise

Research & Development Institute of Mechanical Engineering (R&DIME), Nizhnyaya Salda

This paper gives firing test results comparison of FSUE R&DIME's thrusters with the MON-3/MMH propellants and AT/UDMH propellants and also thruster thermal state information obtained during that firing testing.

*Thruster, firing testing, MON-3, MMH, AT, UDMH, specific impulse, thermal state.*

**Информация об авторах**

**Бешенев Юрий Александрович**, главный специалист по отработке ракетных двигателей малой тяги Научно-исследовательского института машиностроения (ФГУП «НИИ-Маш»), г. Нижняя Салда. Тел.: (34345) 36-5-16. E-mail: [niimash@list.ru](mailto:niimash@list.ru). Область научных интересов: расчётно-теоретические и экспериментальные исследования рабочих процессов в жидкостных ракетных двигателях малой тяги.

**Булдашев Сергей Алексеевич**, начальник конструкторского отдела ФГУП «НИИ-Маш», г. Нижняя Салда. Тел.: (34345) 36-291. E-mail: [niimash@list.ru](mailto:niimash@list.ru). Область научных интересов: расчетно-теоретические и экспериментальные исследования по созданию перспективных образцов ракетно-космической техники.

**Казанкин Филипп Андреевич**, заместитель главного конструктора ФГУП «НИИ-Маш», г. Нижняя Салда. Тел.: (34345) 36-4-14. E-mail: [niimash@list.ru](mailto:niimash@list.ru). Область научных интересов: расчетно-теоретические и экспериментальные исследования по созданию перспективных образцов ракетно-космической техники.

**Лемский Николай Васильевич**, инженер-конструктор конструкторского отдела ФГУП «НИИМаш», г. Нижняя Салда. Тел.: (34345) 36-5-16. E-mail: [lemskii@mail.ru](mailto:lemskii@mail.ru), [niimash@list.ru](mailto:niimash@list.ru). Область научных интересов: организация рабочего процесса в камере сгорания и тепловое состояние ЖРДМТ.

**Семкин Евгений Владимирович**, начальник группы конструкторского отдела ФГУП «НИИМаш», г. Нижняя Салда. Тел.: (34345) 36-2-51. E-mail: [sewa20-68@rambler.ru](mailto:sewa20-68@rambler.ru), [niimash@list.ru](mailto:niimash@list.ru). Область научных интересов: исследования физико-химических процессов перемешивания компонентов топлива, математическое моделирование внутрикамерных процессов.

**Beshenev Yury Alexandrovich**, chief specialist of thruster development, FSUE R&D Institute Mechanical Engineering, Nizhnyaya Salda. Phone: (34345) 36-516. E-mail: [niimash@list.ru](mailto:niimash@list.ru). Area of research: design-theoretical and experimental investigations of thruster processes.

**Buldashev Sergey Alekseevich**, head of design-engineering department, FSUE R&D Institute Mechanical Engineering, Nizhnyaya Salda. Phone: (34345) 36-291. E-mail: [niimash@list.ru](mailto:niimash@list.ru). Area of research: design-theoretical and experimental investigations for rocketry promising technology creation.

**Kazankin Filip Andreevich**, Deputy of Chief Designer, FSUE R&D Institute of Mechanical Engineering, Nizhnyaya Salda. Phone: (34345) 36-414. E-mail: [niimash@list.ru](mailto:niimash@list.ru). Area of research: design-theoretical and experimental investigations for rocketry promising technology creation.

**Lemskiy Nikolay Vasilievich**, design engineer of design-engineering department, FSUE R&D Institute of Mechanical Engineering, Nizhnyaya Salda. Phone: (34345) 36-516. E-mail: [lemskii@mail.ru](mailto:lemskii@mail.ru), [niimash@list.ru](mailto:niimash@list.ru). Area of research: forming operating processes and thermal states in thrusters.

**Semkin Yevgeny Vladimirovich**, head of group of design-engineering department, FSUE R&D Institute of Mechanical Engineering, Nizhnyaya Salda. Phone: (34345) 36-251. E-mail: [sewa20-68@rambler.ru](mailto:sewa20-68@rambler.ru), [niimash@list.ru](mailto:niimash@list.ru). Area of research: physical-chemical propellant mixing processes and converting propellants into combustion products concerning thrusters; mathematical modeling of chamber processes.