

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ТОМОГРАФИЯ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МАЛОЙ ТЯГИ

ООО "Промышленная интроскопия":

Ирина Алексеевна Вайнберг, старший научный сотрудник, к.т.н.
Эдуард Ильич Вайнберг, президент, д.т.н.

МАИ (Национальный исследовательский университет):

Игорь Николаевич Боровик, доцент, к.т.н.

Представлены примеры цифровых томограмм и рентгенограмм разнообразных ракетных двигателей малой тяги и их смесительных головок, полученные с помощью высокоэнергетического компьютерного томографа ВТ-600ХА ООО "ПРОМИНТРО". Показано, что высокоэнергетическая компьютерная томография может стать важным фактором повышения уровня технологии, надежности и долговечности двигателей малой тяги и использующих их космических аппаратов.

Ставшее будничным широкое практическое использование разнообразных космических аппаратов (КА) предполагает наличие на их борту управляемых многорежимных ракетных двигателей малой тяги (РДМТ). Эти маленькие труженики космоса используются для пространственной ориентации КА, стабилизации и коррекции их орбит, выполнения маневров при стыковке и расстыковке КА, управления разгонными блоками и спускаемыми КА.

В силу высокой стоимости и длительного срока службы ответственных КА технические требования, предъявляемые к современным РДМТ, разнообразны и непрерывно ужесточаются. Прежде всего, по надежности - до 15 лет при числе включений более миллиона раз, суммарному времени работы в десятки часов при минимальной длительности импульса ~30 мс и тяге от 10 до 500 Н [1]

на фоне характерного перепада температур и в отсутствии возможности ремонта и техобслуживания.

Указанные технические требования удается обеспечить с помощью жидкостных ракетных двигателей малой тяги (ЖРДМТ). Традиционная конструкция ЖРДМТ обычно содержит сопло с усиленной теплозащитой зоны критического сечения, камеру сгорания, смесительную головку с системой каналов подачи компонентов топлива, форсуночными элементами и несущим фланцем, а также электрически управляемые клапаны подачи компонентов топлива. Камера сгорания и сопло обычно изготавливаются из жаропрочных сплавов (часто ниобиевых) или углеродных композиционных материалов. Большинство смесительных головок ЖРДМТ изготавливается из коррозионностойких стальных деталей, объе-

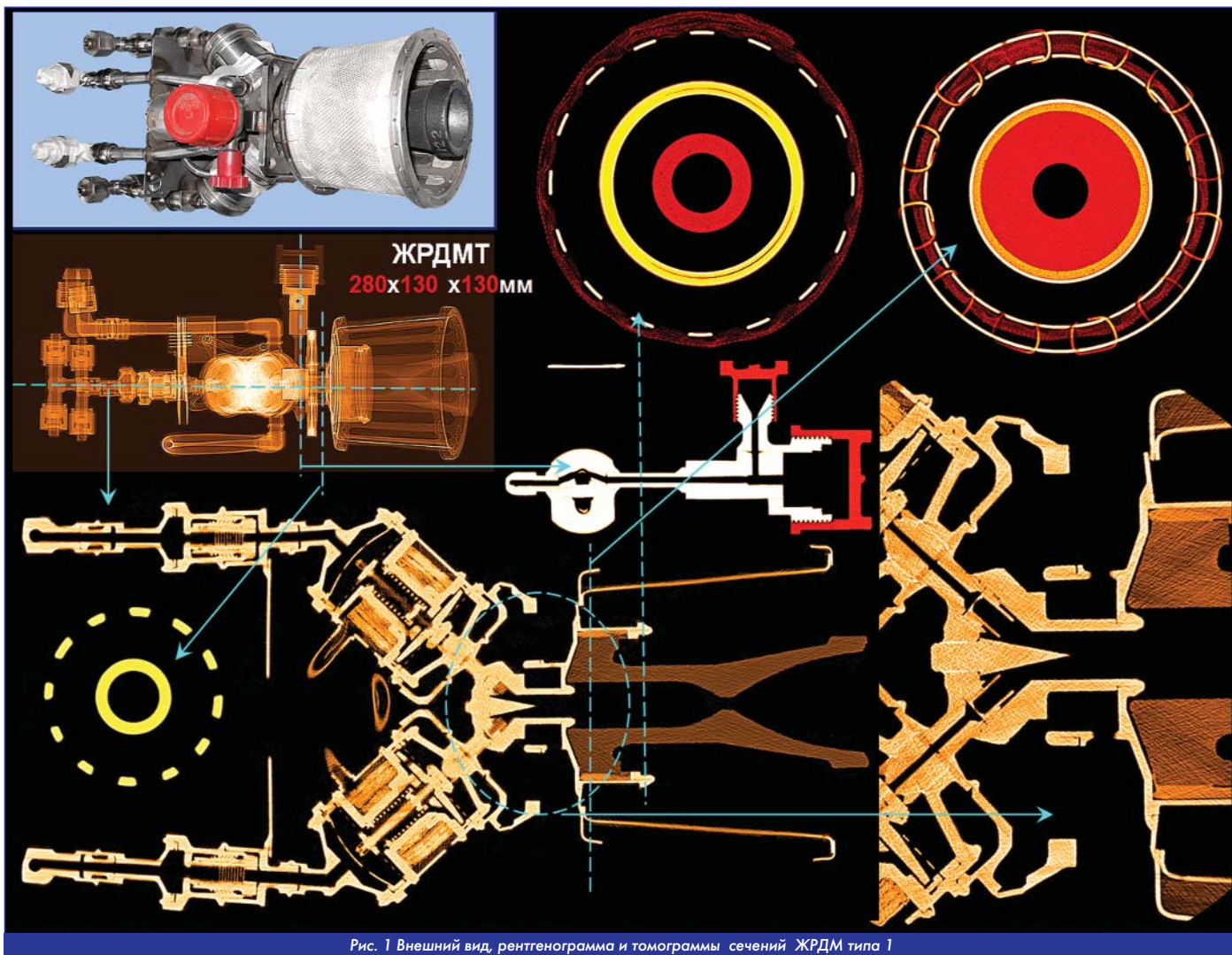


Рис. 1 Внешний вид, рентгенограмма и томограммы сечений ЖРДМ типа 1

диненных с помощью вакуумно-плотных сварных и паяных соединений. Типичные габариты ЖРДМТ составляют около 250x150x100 мм при массе до 3 кг и толщине стальных узлов от 50 до 200 мм. В силу высокой сложности внутренней структуры смесительных головок в последние годы предпринимаются попытки их изготовления с помощью новейших аддитивных технологий.

Обеспечение высокой надежности и конкурентоспособности производимых ЖРДМТ требует адекватных средств и методик неразрушающего контроля внутренней структуры важнейших элементов конструкции, правильности сборки и взаимного расположения узлов, а также дефектоскопию многочисленных сварных и паяных соединений. Для толстостенного стального объекта контроля со сложной геометрией, каким является типичный ЖРДМТ, это не простая задача, неразрешимая в рамках традиционных методов неразрушающего контроля.

В этой связи целью проведенных нами экспериментальных исследований была практическая оценка эффективности универсальных высокоэнергетических компьютерных томографов ООО "ПРОМИНТРО" [2] с проникающей способностью до 150 мм стали при неразрушающем контроле качества технологии и конструкции разнообразных ЖРДМТ. Для испытаний использовался компьютерный томограф ВТ-600ХА.

Примеры полученных томограмм ЖРДМТ различных конструкций и экспериментальных смесительных головок приведены на рис.1-6. Там же указаны габаритные размеры объектов контроля.

Рамки статьи ограничивают нас в количестве представленных примеров.

Видно, что томограммы достоверно воспроизводят мельчайшие особенности внутренней структуры каждого неразборного узла ЖРДМТ, позволяют оценить уровень технологии и выявить

дефекты исходных деталей или возникшие при сборке, пайке, сварке и опытной эксплуатации. Внимательно рассмотрев приведенные иллюстрации, Вы сами имеете возможность провести подробный анализ конструкции и технологии внутренней структуры этих двигателей.

При анализе представленных изображений томограмм следует помнить, что каждая двумерная томограмма содержит от 1 до 4-х миллионов 16-разрядных цифровых значений, отражающих пространственное распределение плотности материалов в исследуемом сечении или выбранной оператором локальной зоне такого сечения. Результаты томографического контроля, помимо изображений, представляются в виде графиков распределения плотности внутри контролируемого изделия, позволяющих обнаружить дефекты в виде разноплотностей, пор, трещин, включений и бесконтактно количественно измерить плотность и геометрические размеры внутренних конструктивных элементов и зазоров. Правда, делается это не по картинкам, а по цифровым файлам томограмм с помощью специального программного обеспечения томографа.

Приведенные примеры подтверждают, что высокоэнергетические компьютерные томографы ООО "ПРОМИНТРО" по допустимым массогабаритным характеристикам объектов контроля, проникающей способности излучения и пространственному разрешению позволяют контролировать широкую номенклатуру современных ЖРДМТ и целенаправленно отрабатывать техпроцесс с оперативным контролем его влияния на внутреннюю структуру с целью минимизации дефектов и повышения надежности ответственных космических комплексов.

Благодаря компьютерной томографии у разработчиков, технологов и потребителей ЖРДМТ появляется возможность детально сравнить особенности конструкции и технологии внутренней

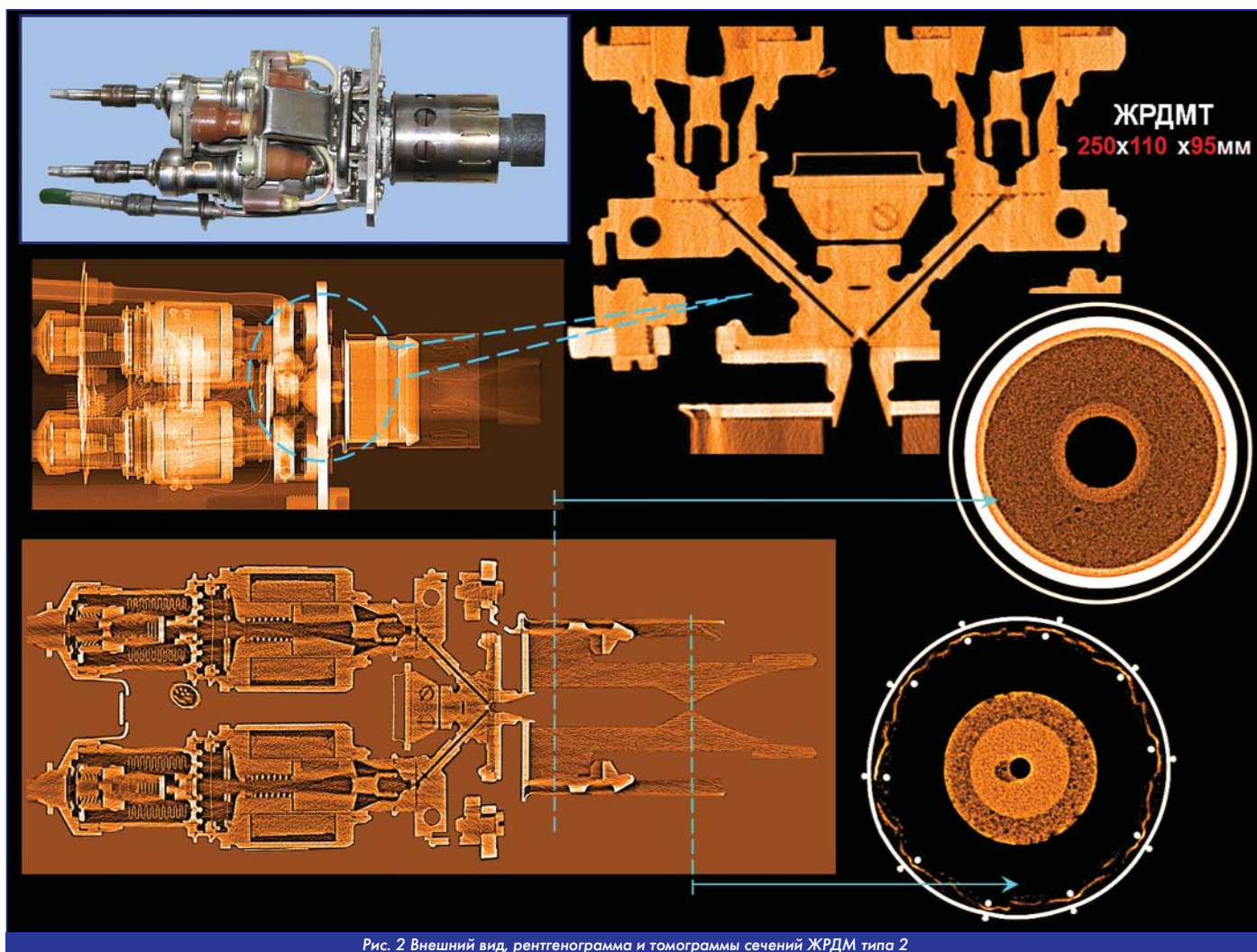


Рис. 2 Внешний вид, рентгенограмма и томограммы сечений ЖРДМ типа 2

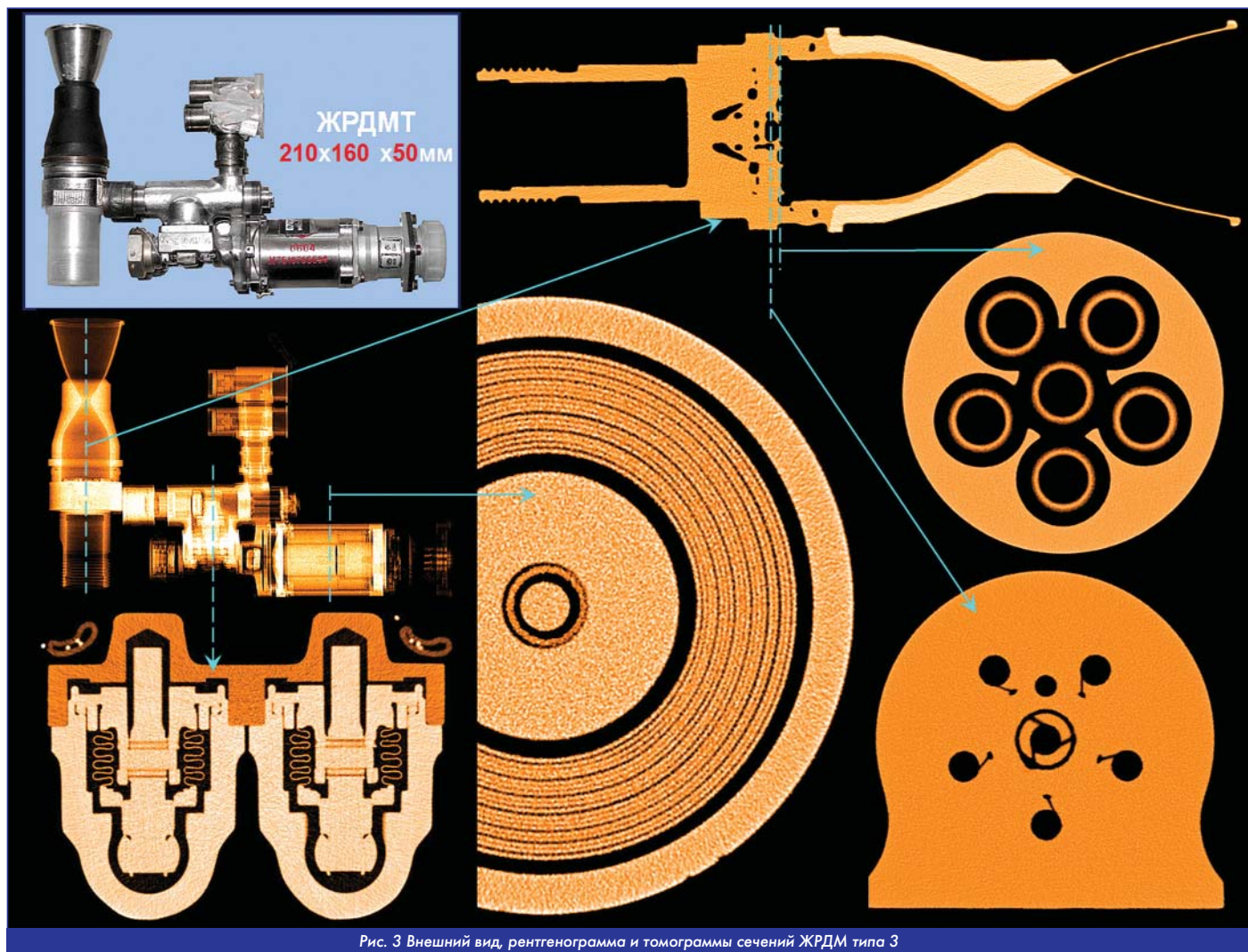


Рис. 3 Внешний вид, рентгенограмма и томограммы сечений ЖРДМ типа 3

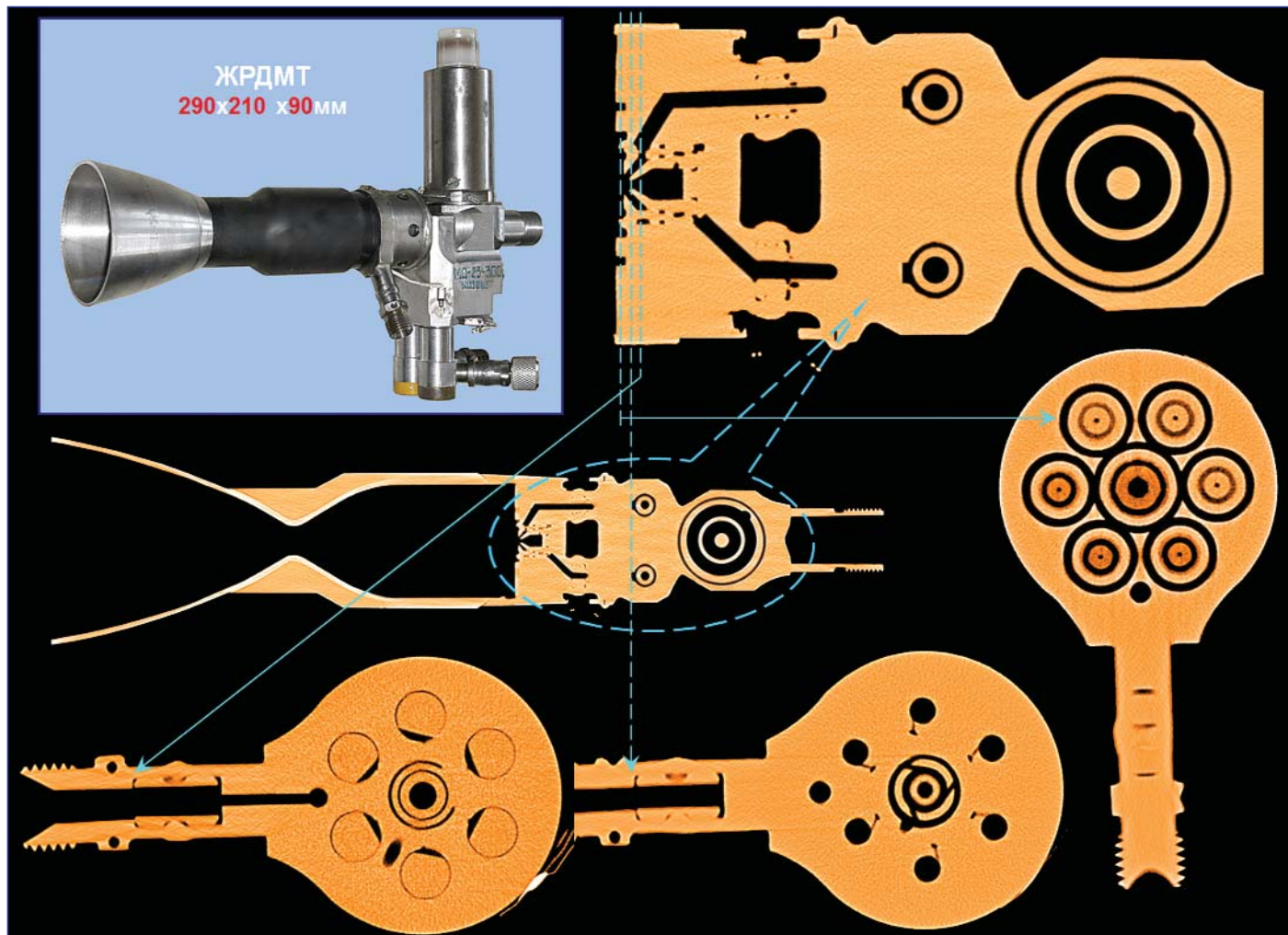


Рис. 4 Внешний вид, рентгенограмма и томограммы сечений ЖРДМ типа 4

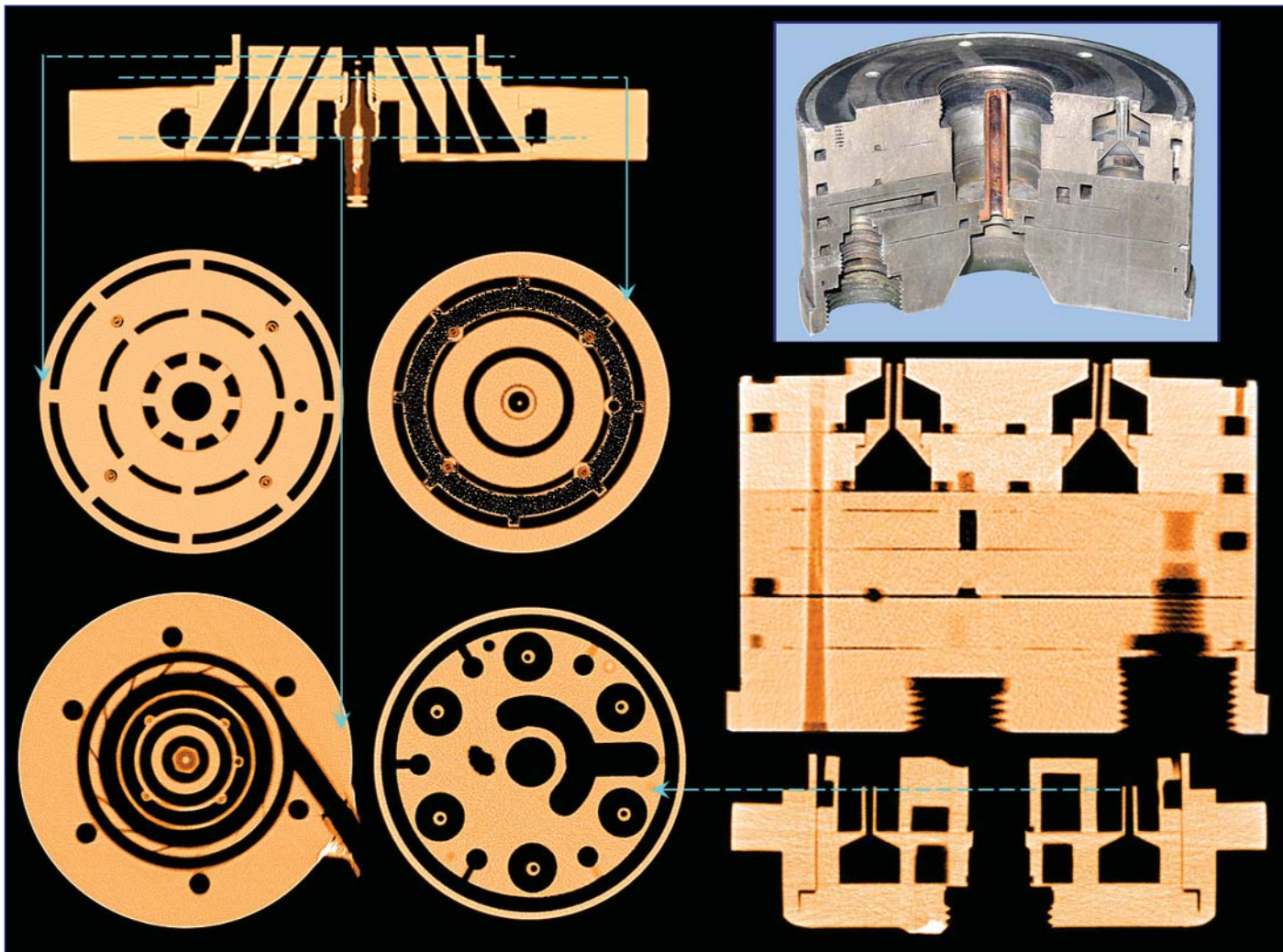


Рис. 5 Внешний вид и томограммы сечений трех типов смесительных головок ЖРДМ

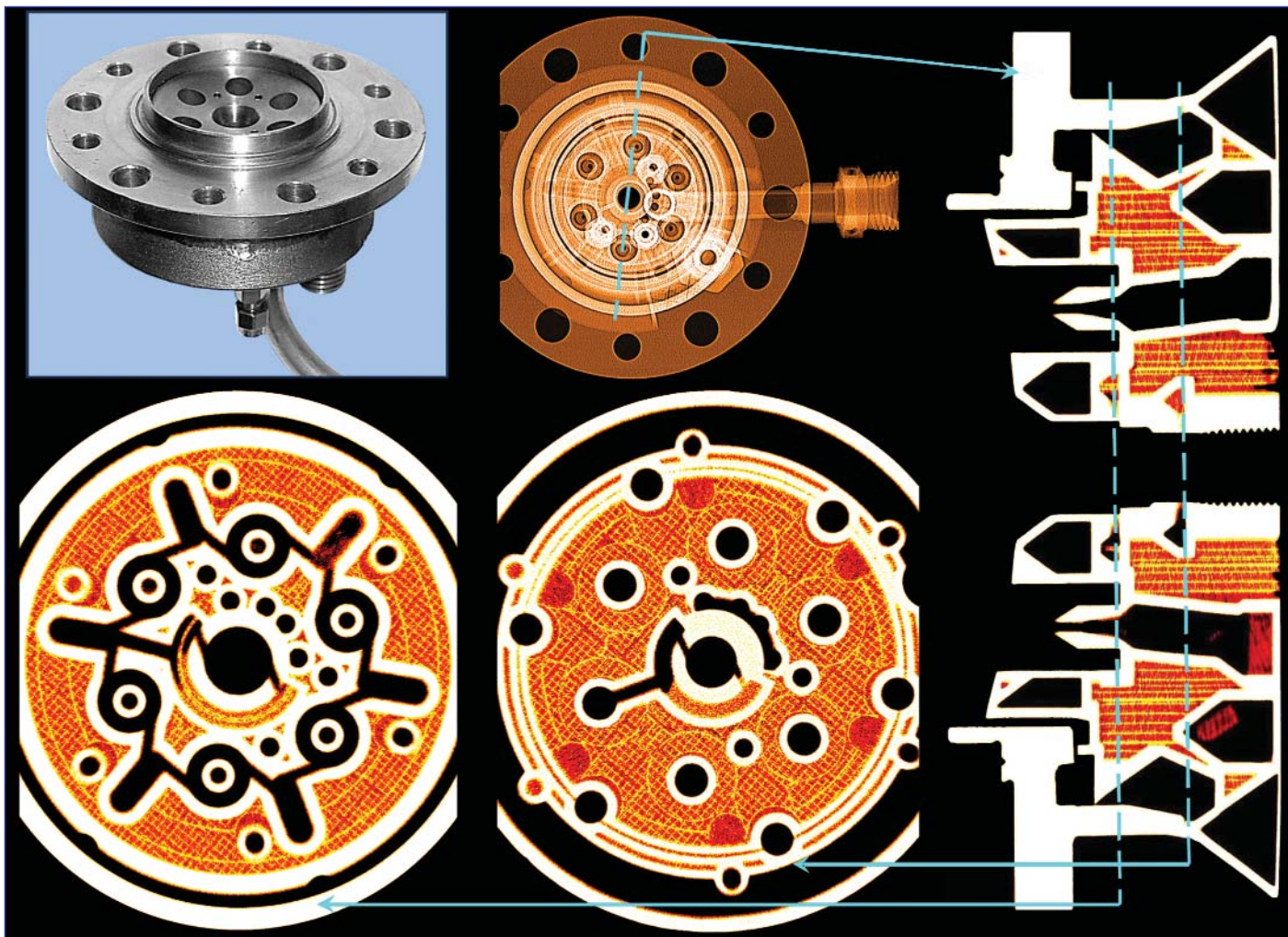



Рис. 6 Внешний вид и томограммы сечений смесительной головки ЖРДМ, изготовленной с применением аддитивных технологий

структуры однотипных двигателей разных производителей, чтобы осознанно выбрать наилучшее решение.

Таким образом, мы видим, что ЖРДМТ, начавшие свое развитие еще в 30-е годы прошлого столетия, достигли зрелого технического состояния и благодаря разительному развитию космической техники приобрели массовую востребованность в ответственных гражданских и оборонных применениях, а высокоэнергетическая компьютерная томография может стать важным фактором повышения уровня их технологии, надежности и долговечности. 

Литература

1. Агеенко Ю.И., Панин И.Н., Пегин И.В., Смирнов И.А. Основные достижения в ракетных двигателях малой тяги разработки КБ Химмаш им. А.М. Исаева. // Двигатель. 2014. № 2. С.24-27.
2. Вайнберг И.А., Вайнберг Э.И., Цыганов С.Г., Сидорин В.Б. Российские высокоэнергетические томографы для отработки технологии и сертификации ответственных изделий авиационной промышленности. // Двигатель. 2012. № 4. С.20-26.