



НАУКА @ ТЕХНИКА

12+

№ 2 (153)

ФЕВРАЛЬ, 2019

www.naukatehnika.com

– ЖУРНАЛ для ПЕРСПЕКТИВНОЙ МОЛОДЕЖИ –

ЭКОЛОГИЯ
ИСТОРИЯ
«ЛЕПСЕ»

АСТРОНОМИЯ
ТАЙНА БОЛЬШОГО
КРАСНОГО ПЯТНА

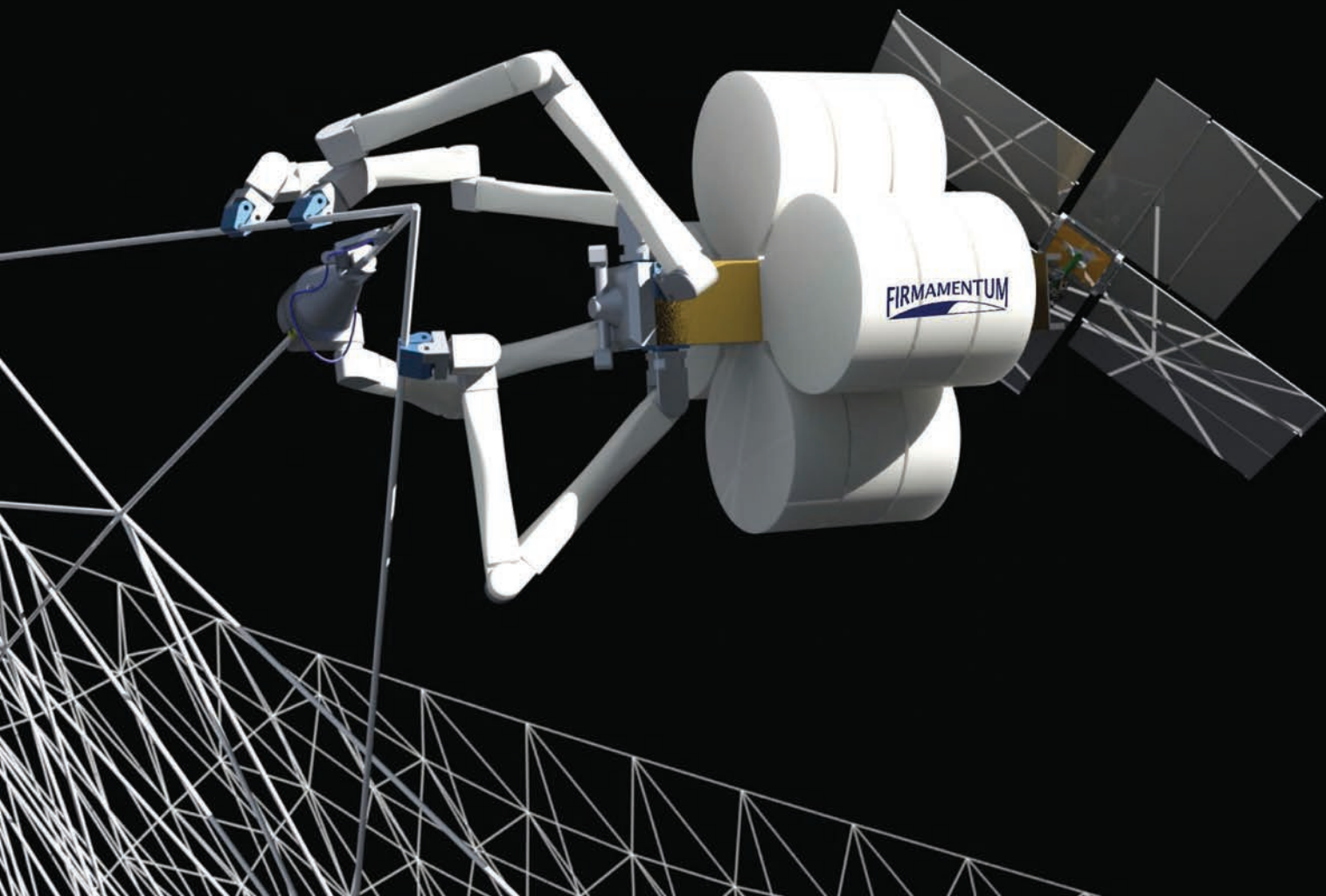
БРОНЕТЕХНИКА
БРОНЕВИКИ
ИНДОНЕЗИИ

ГРАЖДАНСКАЯ АВИАЦИЯ
ДРОНЫ И ТОЧНОЕ
ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

ДИСКУССИЯ
ЗАГАДКА
АКАМБАРО

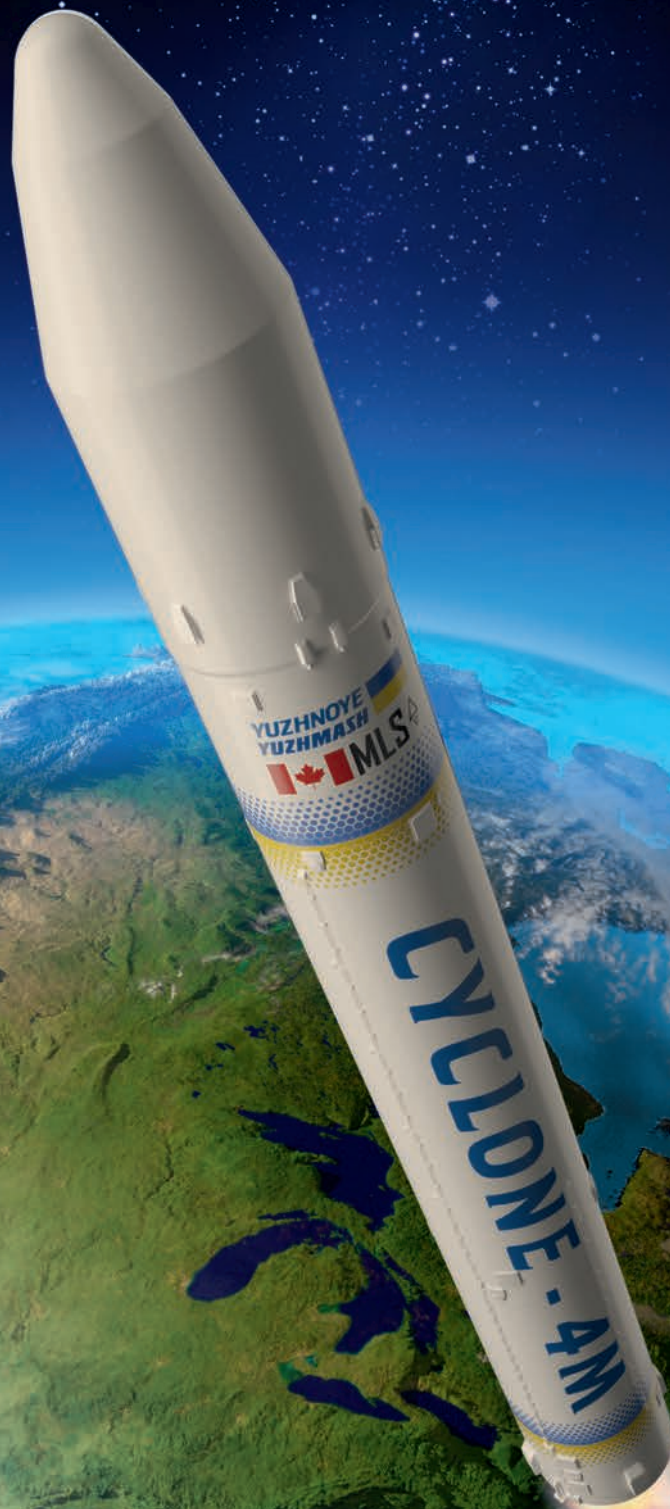
ПРИОТКРЫВАЯ ЗАВЕСУ БУДУЩЕГО, или 3D-ТЕХНОЛОГИИ В ОСВОЕНИИ КОСМОСА

См. стр. 22



www.yuzhnoye.com

WORLD LEVEL OF SPACE ROCKETRY AND TECHNOLOGY



 **YUZHNOYE**
design office

Журнал зарегистрирован Министерством юстиции Украины
(Св-во КВ № 12091-962ПР от 13.12.2006)
УЧРЕДИТЕЛЬ: Поляков А.В. ИЗДАТЕЛЬ: ЧПФ «Возрождение».

**НАУКА
ТЕХНИКА**

ТИРАЖ: 10 000 экз.
ЦЕНА свободная.
ДАТА выхода в свет — 07.02.2019 г.

ТЕЛЕФОНЫ: +38 067 131-95-84, +38 050 614-36-13,
+38 050 615-69-86 (для авторов)

ОТПЕЧАТАНО: ООО Компания «Юнивест Маркетинг», Типография «Юнивест Принт»,
01054, г. Киев, ул. Дмитриевская, 44-Б. Тел. +38 044 494-09-03

ПРИОТКРЫВАЯ ЗАВЕСУ БУДУЩЕГО, или 3D-ТЕХНОЛОГИИ В ОСВОЕНИИ КОСМОСА



Растущая конкуренция на мировом космическом рынке, с одной стороны, диктует необходимость минимизации затрат, а с другой — стремление к освоению Луны, Марса и других планет Солнечной системы требует новых технических подходов при создании объектов ракетно-космической техники, начиная уже с этапа проектирования.

Ведущие мировые компании занимаются внедрением в производство новых технологий, в частности 3D-печати¹, новых материалов и технических решений. Технология 3D-печати позволяет упростить конструкцию изделий за счет уменьшения количества деталей и сборочных единиц и, соответственно, снизить затраты на разработку и изготовление готовой продукции. Это одна из перспективных технологий, которая открывает новые горизонты в освоении космического пространства, меняет традиционные подходы к созданию ракетно-космической техники. С применением 3D-технологий могут быть получены детали и конструкции, которые зачастую не могут быть созданы с помощью традиционных способов обработки материалов.

3D-печать может осуществляться с использованием самых разных материалов: пластик, металл, пищевые компоненты и др. Технологий и разновидностей 3D-печати на сегодняшний день известно множество, и постоянно появляются новые.

▲ Макет проекта лунной базы, предложенного Европейским космическим агентством. База состоит из четырех жилых модулей, из них центральный и верхний левый модули уже закончены, а еще два находятся в последней стадии строительства. Жилые модули соединены тоннелями, на каждом из них есть по четыре люка-иллюминатора

ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ (АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ)

Технология 3D-печати появилась в конце 1980-х гг. 3D-принтер — это устройство, использующее метод послойного создания физического (твердотельного) объекта по цифровой 3D-модели. Поскольку получение изделия происходит путем послойного добавления материала, то эти технологии еще называют аддитивными (от английского Additive Fabrication). Стремительное развитие 3D-печать получила с распространением автоматизированных технологий в области проектирования (системы CAD-CAE-CAM), и в настоящее время во многих областях материального производства в той или иной степени используются 3D-принтеры.

¹ Материал об аддитивных технологиях был размещен в *HiT* № 2 2016 г.

3D-ПЕЧАТЬ ЗАПЧАСТЕЙ ИЛИ ИНСТРУМЕНТА НЕПОСРЕДСТВЕННО НА КОСМИЧЕСКИХ ОРБИТАХ НА БОРТУ КОРАБЛЯ

Знаменитый фантаст Роберт Шекли еще в 1955 г. в своем рассказе «Необходимая вещь» описал, как космонавты взяли с собой в полет некий Конфигуратор, вместо длинного списка вещей, которые могут пригодиться в межзвездной экспедиции.

На нем они могли напечатать все, что может понадобиться в космосе, — от необходимых запчастей и до салата из креветок. Прошло немногим более полувека, и реальность, если еще и не превзошла воображение писателя, то вплотную к нему приблизилась...

Сейчас, чтобы получить нужные инструменты и пополнить запасы, космонавтам на Международной космической станции (МКС) приходится ждать «посылку» с Земли иногда по нескольку недель. С развитием аддитивных технологий разработчики предположили, что можно применить 3D-печать и на орбите, однако космические условия накладывают свои ограничения на процесс. В 2013 г., в рамках исследовательских программ NASA, были начаты работы по созданию 3D-принтера для печати запчастей и деталей непосредственно на МКС.

Компания Made in Space разработала такое устройство, и в 2014 г. на МКС был доставлен 3D-принтер Zero-Gravity — первое устройство, работающее в условиях невесомости. С его помощью на борту МКС были напечатаны несколько десятков деталей (рис. 1), в том числе и из тех, которые были получены в результате проекта Future Engineers, где каждый желающий мог прислать свой CAD-файл для печати в космосе.

В 2018 г. был сделан следующий шаг к созданию устойчивой производственной системы в космосе. С помощью ракеты-носителя «Антарес»² (рис. 2) был запущен 10-й космический корабль Cygnus. На борту корабля среди нескольких тонн груза для МКС находился Рефабрикатор.

Это новое устройство, которое превращает отходы пластика разных форм и размеров в высококачествен-

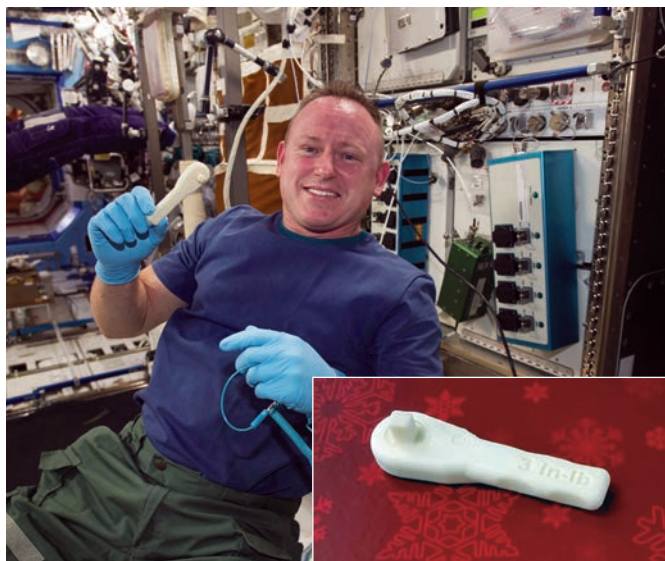


Рис. 1. Гаечный ключ, напечатанный на МКС



Рис. 2. РН «Антарес»



Рис. 3. Рефабрикатор способен перерабатывать и печатать (имеется в виду 3D-печать) с использованием космического пластика ULTEM. Изображение предоставлено NASA / MSFC / Emmett Given

ную нить, и эта нить используется для создания методом 3D-печати новых инструментов и изделий. Контрольный пластик будет перерабатываться несколько раз, а потом созданные из него изделия проверяют на качество на Земле. В дальнейшем эта технология позволит astronautам решать вопросы жизнеобеспечения в длительных космических миссиях.

С помощью Рефабрикатора (рис. 3) можно решить вопросы утилизации вышедших из строя деталей и предметов постоянного использования. Например, переработать одноразовую посуду и изготовить новую, превратить ненужные пластиковые отходы в сырье для изготовления необходимых предметов. Повторное использование пластиковых отходов снижает стоимость и риски для космических миссий.

² ГП «КБ «Южное» и ГП ПО ЮМЗ принимали участие в разработке и изготовлении 1-й ступени РН «Антарес»

3D-ПРИНТЕРЫ ПРЕДПОЛАГАЕТСЯ ИСПОЛЬЗОВАТЬ НЕ ТОЛЬКО ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАПЧАСТЕЙ, ИНСТРУМЕНТОВ, НО И ДЛЯ СОЗДАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В КОСМОСЕ

3D-принтеры незаменимы и в создании крупногабаритных конструкций в космосе. Компания Tethers Unlimited, Inc. (TUI) по заказу НАСА разрабатывает технологию SpiderFab — космического робота-паука для автоматизированной печати крупных несущих конструкций на космической орбите.

В настоящее время конструкции, которые отправляются в космос, изготавливаются на Земле. Громоздкие детали должны быть собраны и размещены внутри зоны полезной нагрузки ракеты и развернуты уже на орбите. Поэтому сейчас эти конструкции имеют избыточный запас прочности, но ограниченный размер. А в космосе обычно сверхпрочные конструкции не нужны, зато нужен большой размер. Аппараты SpiderFab позволяют строить именно такие конструкции: легкие, крупногабаритные и с относительно низкой стоимостью (рис. 4, 5).

Все необходимые части орбитального производственного комплекса SpiderFab можно вывести в космос с помощью существующих ракет-носителей. Материал для изготовления может быть доставлен на орбиту в очень ком-

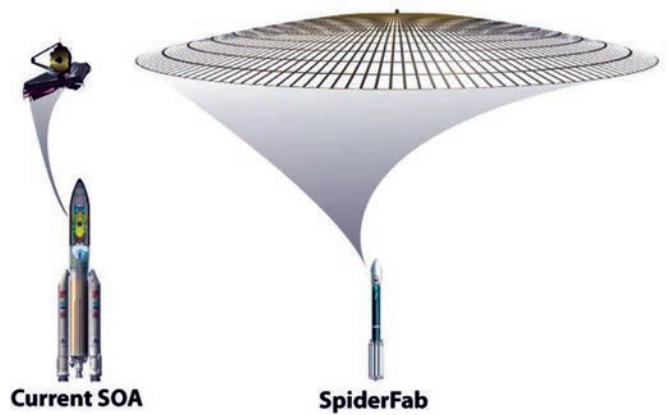


Рис. 4

пактной форме, например в блоках полимера или катушках с полимерным волокном. Сам робот-паук будет размером с наноспутник.

В перспективе эта технология позволит изготавливать в космосе крупногабаритные, длиной в несколько километров, конструкции — фермы антенн, базовые структуры солнечных электростанций, огромных телескопов и т. д.

Компания Tethers Unlimited, Inc. (TUI), разрабатывает еще одну технологию для создания крупных объектов в космосе с помощью устройства под названием трасселятор (Trusselator). Устройство представляет собой гибри-

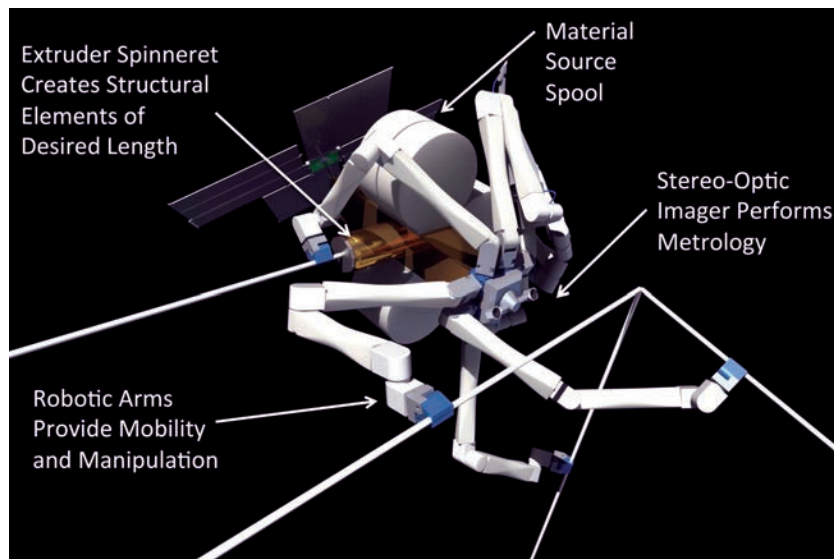


Рис. 5. Роботы SpiderFab оснащены экструдером, выдавливающим готовую пластиковую трубу, барабанами-контейнерами большой емкости для сырья и манипуляторами для сборки конструкции

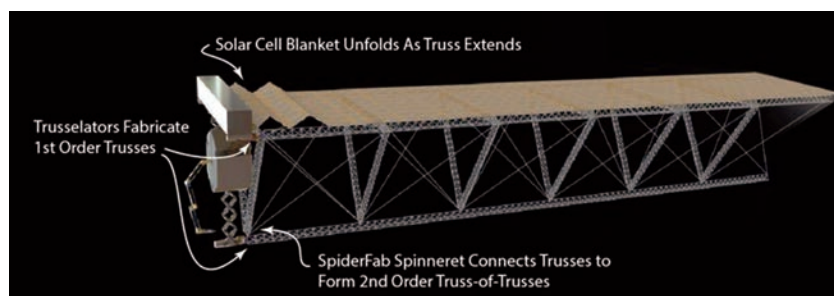


Рис. 6. Схема работы робота-трасселятора. Подписи, слева направо против часовой стрелки: трасселяторы строят фермы 1-го порядка; прядильный механизм (фильера) SpiderFab соединяет фермы с формированием конструкции 2-го порядка; панель солнечных элементов разворачивается по мере расширения фермы

3D-ПРИНТЕРЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ НА ДРУГИХ ПЛАНЕТАХ

Разрабатывая проекты поселений на Луне и Марсе, прежде всего надо спроектировать инфраструктуру для первых поселенцев — сооружения, здания, в которых они будут жить и работать. Одной из основных проблем при возведении зданий и сооружений на внеземных объектах является ограниченное количество либо отсутствие традиционных строительных материалов, а для защиты от экстремальных температур и высокой радиации сооружения для первопроходцев должны быть очень хоро-

шо изолированы. Поэтому и в США, и в Европе широкое распространение получили проекты, предполагающие использование подручных материалов. Единственным доступным сырьем, не нуждающимся в транспортировке с Земли, являются местные геологические породы, поэтому ученые решают задачу их использования при возведении зданий.

Разработчики космических объектов изучают возможность применения строительного 3D-принтера в космических условиях. Были созданы материалы, имитирующие лунный и марсианский реголит. Природный реголит представляет собой рыхлый, разнородный обломочно-пылевой слой глубиной несколько метров, состоящий из обломков изверженных пород, минералов, стекла, метеоритов, и хорошо подходит для строительства. Имитаторы реголита производятся с использованием порошкообразных веществ, напоминающих породы с поверхности Луны и Марса.

На рис. 8 представлена фотография строительного блока весом 1,5 тонны, сделанного принтером D-Shape (британская компания Monolite) для демонстрации. Для печати использовался материал, на 99,8 % аналогичный реголиту — полученный из базальтовых пород одного из вулканов в центральной Италии. На Луне принтер сможет использовать в качестве материала местный грунт, реголит.

Печатающая головка 3D-принтера перемещается по шестиметровой рамке (рис. 9). Робот печатает со скоростью 2 кубометра в час, окончательная версия принтера будет печатать 3,5 кубометра в час. Таким образом, для создания небольшого здания потребуется около одной недели.

На рис. 10 представлен макет проекта лунной базы, предложенного Европейским космическим агентством. База состоит из четырех жилых модулей, из них центральный и верхний левый модули уже закончены, а еще два находятся в последней стадии строительства. Жилые модули соединены тоннелями, на каждом из них есть по четыре люка-иллюминатора.

3D-ПЕЧАТЬ В ПРОИЗВОДСТВЕ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Применение аддитивных технологий в аэрокосмической отрасли позволяет производителю удешевить продукцию, повысить ее эксплуатационные характеристики, а также значительно сократить время изготовления отдельных изделий. Аддитивные технологии в разной степени применяют все крупные компании, связанные с аэрокосмическим производством.

Основная дорогостоящая и сложная в изготовлении часть ракеты-носителя — ракетный двигатель. Жидкостные ракетные двигатели состоят из большого количества деталей сложной формы, а 3D-печать сложных геометрических форм позволяет избежать сварных швов и оптимизировать конструкцию. Это, в свою очередь, снижает стоимость двигателя и время его изготовления. Детали двигателей изготавливают с помощью технологии селективной лазерной плавки SLM (рис. 11, 13, 14).

В основном с помощью 3D-печати производят отдельные детали двигателей. Так, американская компания Aerojet Rocketdyne создает ракетный двигатель RS-25 (рис. 12) для сверхтяжелой ракеты, часть деталей для которого изготавливается на 3D-принтере.

В конструкции демфера двигателя RS-25 благодаря применению 3D-печати количество компонентов

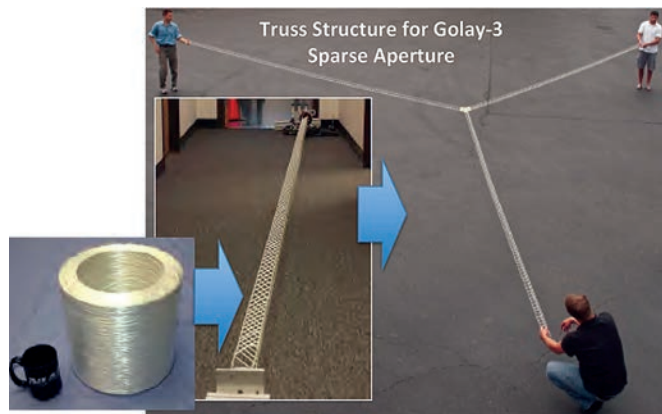


Рис. 7. Испытания трасселятора. Устройство трасселятора: механизм 1.5U трасселятора; вращение внешней оболочки; реплицирующийся участок фермы; устройство подачи нити CFRTF; барабан для сырьевой нити; цилиндр привода; привод двигателя



Рис. 8. Демонстрационный строительный блок



Рис. 9. 3D-принтер на экспозиции



Рис. 10. Макет центрального модуля лунной базы



Рис. 11. Установка селективного лазерного плавления SLM 280 в «КБ «Южное»



Рис. 12. Фото двигателя RS-25 фирмы Aerojet

удалось сократить с 28 до шести, а заодно избавиться от 123 сварных швов (78 % от общего числа) и одного болтового соединения. Как результат — выросла надежность системы с одновременным снижением затрат на производство и сборку. Стоимость 3D-печатного изделия примерно на треть ниже стоимости обычного аналога. Испытания прошли успешно.

Американская компания Rocket Lab запустила в космос свою суперлегкую ракету Electron. Эта ракета использует двигатель собственного производства Rutherford, все основные детали (камеры сгорания, форсунки, насосы и топливные клапаны) которого создаются способом 3D-печати. 3D-печатные двигатели прошли более 500 успешных стендовых испытаний, и это не считая фактических запусков.

Компания SpaceX, возглавляемая Илоном Маском, провела успешные испытания двигателей SuperDraco, основная деталь которых — камеры сгорания — полностью напечатаны на 3D-принтере с использованием сплава Inconel. Использование сплава Inconel обеспечивает прочность, пластичность, сопротивление разрушению и меньшую деформацию материалов.

В КБ «Южное», в соответствии с современными тенденциями в ракетостроении, было смонтировано и запущено в производственный процесс оборудование для 3D-печати на основе алюминиевых, стальных, титановых порошков. На установке немецкой компании SLM Solutions SLM 280 был изготовлен ряд элементов конструкции жидкостных ракетных двигателей, которые сейчас проходят этап сертификации.

В настоящее время аддитивное производство давно вышло за рамки обсуждений. 3D-печать (как металлами, так и пластиком) становится промышленной революцией, вдохновляя на перемены в производстве. Происходят фундаментальные изменения в подходах к получению изделий. Аддитивное производство формирует будущее, заменяя традиционную машинную обработку или дополняя ее в рамках гибридного подхода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. <https://www.nasa.gov>
2. <https://www.fosterandpartners.com/projects/lunar-habitation>
3. <https://www.nasaspaceflight.com>
4. <https://www.engineering.com>



Рис. 13. Образцы продукции, полученные на установке SLM 280 в «КБ «Южное»

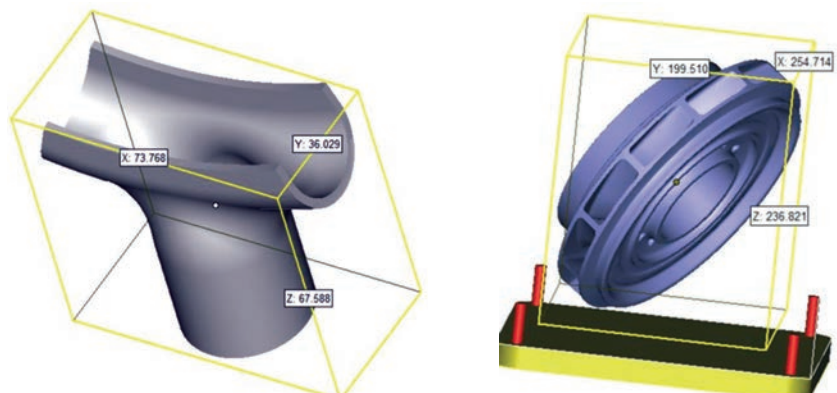


Рис. 14. 3D-модели деталей, подготовленные для SLM 280