## Всероссийский конкурс работ научно-технического творчества студентов, обучающихся по программам среднего профессионального образования

**Задачи заочного этапа   
для направления «Производственные технологии»**

**Как решить?**

При решении задач мы рекомендуем пользоваться доступными источниками информации.

Мы настоятельно рекомендуем решать задачи в команде без помощи сторонних экспертов. В случае необходимости или спорных ситуаций, Оргкомитет проведет удаленное он-лайн собеседование команды с экспертами по направлению.

**Как прислать решение?**

Решение необходимо заполнить в этом же файле ниже и загрузить документ в личном кабинете участника в формате .doc или .docx.

**Название файла** должно быть в формате: “**Направление Название команды**”(например: “Энергетика Электроники.doc”), приложенные файлы называются как: “Направление Название команды Приложение1..n.doc”

**Задания**

1. Поясните необходимость проведения испытаний для изделий получаемых методами аддитивных технологий.   
   *(приведите не менее 3 примеров и обоснуйте ответы)*

Исторически сложилось, что любое изделие сделанное человеком, подвергается им испытаниям. Согласно ГОСТу, испытание это опытное определение количественных и (или) качественных свойств предмета испытаний как результата воздействий на него, при его функционировании, при моделировании предмета и (или) воздействий(ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения). В связи с тем, что изделия, получаемые методами аддитивных технологий, используются в различных отраслях экономики (производство потребительских товаров и электроники, автомобилестроение, медицина, авиастроение и космическая отрасль производства, производство средств производства, образование, строительство) они должны соответствовать стандартам качества. Эти изделия должны иметь такие же технические характеристики, как изделия получены путем традиционных технологий или превосходить их. Поэтому для определения свойств изделий необходимо проводить испытания и оценивать соответствие принятому стандарту.

За рубежом вопросы стандартизации по материалам для аддитивных технологий находятся в компетенции NIST – National Institute of Standards and Technology (США); Международной организации по стандартизации ISO (комитет TC261 по аддитивным технологиям) и ASTM (международный комитет F42 по аддитивным технологиям). В настоящее время разработан только один стандарт (ASTM F2924) на материал Ti-6-Al-4-V для применения в технологиях Powder Bed Fusion (Зленко и др., 2015).

В нашей стране создан технический комитет по стандартизации ТК 182 «Аддитивные технологии» (далее - ТК 182). Решение о создании ТК 182 принято Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии и утверждено приказом от 01 сентября 2015 г. № 1013. Данный комитет является формой сотрудничества заинтересованных организаций, органов власти и физических лиц при проведении работ по национальной, межгосударственной и международной стандартизации в сфере видов экономической деятельности, продукции и услуг согласно Разделу С «Продукция обрабатывающих производств» по ОК 034-2014. Методическое руководство работой ТК 182 и контроль за его деятельностью осуществляет Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (РОССТАНДАРТ) через своего полномочного представителя в комитете (http://viam.ru/repliesn).

В настоящее время ведется разработка проекта национального стандарта ГОСТ Р. В частности, национального стандарта ГОСТ Р «Изделия, полученные методом аддитивных технологических процессов. Методы контроля и испытаний».

Вопрос терминологии рассматривается в рамках деятельности организации ASTM International (American Society for Testing and Materials), занимающейся разработкой технических стандартов для широкого спектра материалов, изделий, систем и услуг. В стандарте ASTM F2792.1549323-1 аддитивные технологии определены как «process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing technologies» («процесс объединения материала с целью создания объекта из данных 3D-модели, как правило, слой за слоем, в отличие от «вычитающих» производственных технологий»).

В международном сообществе так же, как и в России, устоявшейся классификации аддитивных технологий пока не принято. Различные авторы подразделяют их по следующим методам:

формирование слоя;

фиксация слоя;

применяемые строительные (модельные) материалы (жидкие, сыпучие, полимерные, металлопорошковые и т. д.);

ключевая технология (лазерные, нелазерные);

подвод энергии для фиксации слоя построения (с помощью теплового воздействия, облучения ультрафиолетовым или видимым светом, посредством связующего состава и т. д.) (Зленко и др., 2015).

Общей проблемой SLM-технологий (SLM– Selective Laser Melting – селективное лазерное сплавление) является проблема обеспечения надлежащей микроструктуры синтезированного материала, устранения пористости, в той или иной мере характерной для всех видов AM-технологий. В ряде исследований, в частности (Sabina L. Campanelli et. al, 2010; Безобразов Ю.А. и др., 2012; Louvis E. et. аl., 2011), показано, что пористость зависит как от материала, так и от параметров режима сплавления. Например, для алюминиевых сплавов пористость может достигать 4-5%, для сплавов Ti – до 2%, тогда как для сталей – менее 0,2%. Для устранения внутренней пористости для особо ответственных деталей применяют специальные методы термической обработки и обработки давлением, включая HIP (Hot Isostatic Pressure) – горячее изостатическое прессование.

Свойства детали, полученной из порошка, будут другие. Поэтому прежде, чем «напечатать» деталь и тем более попробовать поставить ее на двигатель, надо провести очень много дополнительных исследований. Авиадвигателестроительные фирмы во всем мире сейчас как раз и занимаются изучением свойств порошковых изделий сначала на образцах, потом в реальных деталях.

Прочностные характеристики детали и при традиционных способах изготовления зависят не только от химического состава материала, но и от вида полуфабриката: слиток это, пруток или лист, — а также от режимов термообработки. В случае АТ параметров, влияющих на прочность, гораздо больше. У порошкового материала это не только химический состав, но и размеры гранул, разброс размеров, их овальность, включения, способ изготовления и т. д. Сам аддитивный технологический процесс многовариантен. Если мы говорим о лазерных процессах, то это и мощность луча, и величина пятна, и время воздействия, и направление треков движения луча лазера. Структура детали получается неоднородной, а по механическим характеристикам — не изотропной: в направлении выращивания и в поперечном направлении характеристики, как правило, различны. Таким образом, одновременно с деталью разрабатывается, по сути, технология ее производства, поэтому в случае АТ мы говорим уже не о проектировании конструкции, а о поиске конструктивно-технологического решения, поскольку физико-механические свойства, прочностные и другие характеристики детали устанавливаются в процессе ее изготовления (<http://www.ciam.ru/press-center/interview/additive-technologies-in-gas-turbine-construction>).

При изготовлении медицинских и стоматологических изделий, в том числе стоматологических капп, хирургических, ортопедических и слуховых аппаратов используют фотополимер MED610. Этот материал – неэластичный, он бесцветен, прозрачен и обладает высокой способностью сохранять размеры и форму. Этот материал идеально подходит для областей применения, в которых требуется длительный контакт с кожей (более 30 дней) или краткосрочный контакт со слизистой оболочкой (до 24 часов). Материал MED610 успешно прошел пять медицинских испытаний, среди которых проверки на цитотоксичность, генотоксичность, гиперчувствительность замедленного типа и раздражение. MED610 присвоен класс пластмасс USP VI (детали, напечатанные с учетом правил использования и эксплуатации Objet MED610, оценивались на биосовместимость в соответствии со стандартом DIN EN ISO 10993-1: 2009, «Оценка биологическая медицинских изделий. Часть 1: Оценка и испытания в пределах процесса управления рисками». Такие испытания оценивают цитотоксичность, генотоксичность и замедленную гиперчувствительность, а также соответствие стандарту пластмасс USP Class VI, в который входит проверка на раздражение, критическую общую токсичность и имплантацию) (http://www.ddmlab.ru/materials/fotopolimery\_polyjet/standard/material-biocompatible/).

С помощью технологии 3D-печати PolyJet можно быстро изготавливать удивительно точные модели слуховых аппаратов с гладкой и комфортной поверхностью. Материал для слуховых аппаратов доступен в двух цветах: прозрачном MED630 и розовато-прозрачном MED655. Оба материала имеют медицинскую сертификацию (http://www.ddmlab.ru/materials/fotopolimery\_polyjet/standard/material-biocompatible/).

Изготовление для самолета экспериментального носка радиопрозрачного обтекателя из теплостойкого материала требует испытаний для выявления соответствия, задуманным конструкторами «ОКБ Сухого» характеристикам (<http://www.ndexpo.ru/mediafiles/u/files/materials_2016/3/3Boguslavskij.pdf>).

С помощью функционального прототипа можно с большей вероятностью обнаружить ошибки в конструкции на этапе проектирования. Исправление ошибки, замеченной позже на этапе производства, обойдется в сотни и тысячи раз дороже.

Безобразов Ю.А. и др. Анализ структуры образцов, полученных DMLS-и SLM-методами быстрого прототипирования. СПбГПУ. 2012.

Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с.

Sabina L. Campanelli et. al. Capabilities and Performances of the Selective Laser Melting Process. Polytechnic of Bari, Department of Management and Mechanical Engineering, Viale Japigia, 182 Italy [Электронный ресурс], Режим доступа: http://cdn.intechweb.org/pdfs/12285.pdf

Louvis E. et. аl. Selective laser melting of aluminium components. Journal of Materials Processing Technology. Volume 211, Issue 2, 1 February 2011, Pages 275–284. Department of Engineering, The University of Liverpool, Liverpool L69 3GH, United Kingdom.

1. Для быстрого восстановления изношенной поверхности используют различные технологии (например, наплавка). Предложите способ, которым можно восстановить поверхность пластиковой детали используя 3D-принтер?  
   *(приведите ответ в свободной форме с обоснованием).*

Фотополимеризация – способ, которым можно восстановить поверхность пластиковой детали. Этот метод заключается в том, что на поверхность будет нанесен порошкообразный идентичный материал, после этого помещен в 3D принтер и путем точечного нагрева лазером расплавлен. Таким образом, поверхность детали будет восстановлена и не отличимая от изделия.

При восстановлении детали может происходить искажение ее геометрии. Из-за перехода пластика из одного состояния в другое (жидкое – твердо – жидкое – твердое) и изменения температур, пластик начинает уменьшаться в объеме. Этот процесс проходит неравномерно – сначала остывают края, а затем только центральная часть. Из-за этого возникают внутренние напряжения, которые отрывают края или ломают деталь.   
Невозможно избавиться от термического сжатия или усадки. Это физический процесс – его можно только скомпенсировать. Линейная усадка – 0.5 -0.9%, объемная еще больше.

Исправить ситуацию можно если:

* Уменьшить заполняемость – меньше пластика, меньше чему сжиматься – меньше усилие отрыва.
* Использовать горячий стол – вы прогреваете нижние слои, что дает равномерное распределение напряжений внутри детали.
* Делать внешний контур – вы можете печатать внешний слой вокруг детали. Это создает что-то вроде термобарьера вокруг детали, тем самым поддерживая температуру по объему, что приводит к равномерному распределению напряжений по детали. Альтернатива – закрытая камера печати, служит аналогичным образом.
* Использовать конструктивные элементы – Во-первых, проверьте, чтобы ваша деталь хорошо лежала на столе – если ваша плоская грань детали вовсе не плоская, то она легко оторвется. Во-вторых, если вы понимаете физику процесса, можете либо где-то добавить материала, либо сделать дырку в детали и пр. Таким образом, вы искусственно вызовете перераспределение напряжений в детали, однако, этот способ крайне сложен.
* Увеличьте силу сцепления – вы можете не бороться с напряжениями, а просто обеспечить необходимую силу сцепления. Однако, эти напряжения останутся и вашу деталь потом можно легко сломать в этом месте (http://3dtoday.ru/blogs/leoluch/defects-3d-printing-will-try-to-introduce-a-classification/).

1. Какой материал предпочтительнее при изготовления следующих прототипов?   
   1. Ювелирного украшения  
   2. Деталей электродвигателя  
   3. Здания  
   4. Промышленного робота  
   *(приведите максимальное количество подходящих материалов с обоснованием для каждой позиции)*

При разработке какого-либо нового изделия до запуска его в массовое производство создается его прототип. Под прототипом в инженерии (от др.-греч. πρῶτος — первый и τύπος — отпечаток, оттиск; первообраз) понимают работающая модель, опытный образец устройства или детали.

На рынке предлагается целый спектр материалов, различающихся по степени прочности и качеству образуемой структуры. В зависимости от процесса, в АТ используются следующие основные материалы: полистирол, термопластик, бумага, акрил, поликарбонат, нейлон, ABS, синтетические смолы и др.

Процесс создания **ювелирного изделия** состоит из нескольких этапов:

* **разработка 3D модели**
* **выращивание прототипа –** выращивание пластиковой модели на специальном 3D принтере Solidscape из созданного ранее CAD файла. Выращенный 3D принтером прототип используют для изготовления гипсовой формы, необходимой для литья золота или серебра.
* **создание гипсовой формы**
* **создание мастер-модели** – в гипсовую форму заливают расплавленный сплав золота определенной пробы или серебра. Полученная в результате литья заготовка обрабатывается ювелиром для устранения всех недостатков и совершенствования модели изготавливаемого ювелирного изделия.
* **изготовление «резинки»** – специальная эластичная форма, состоящая из двух половинок. «Резинка» необходима для получения восковых копий мастер-модели ювелирного изделия.
* **создание восковых моделей мастер-модели**
* **создание гипсовой формы для литья заготовки из драгметалла.**
* литье из драгметалла.

По восковой копии мастер-модели снова изготавливается гипсовая форма, необходима для литья золотой заготовки кольца.  
Отлитая золотая заготовка ювелирного изделия выглядит очень грубо, и часто вовсе состоит только из элементов ювелирного изделия, например, из оправы бриллианта (каста) и шинки кольца. Все заготовки обрабатывает ювелир-монтировщик, в результате его работы получается почти готовое отполированное ювелирное изделие без вставок.

При изготовлении прототипов ювелирных изделий используется технология DLP (Direct Light Projection) – выборочное светоотверждение полимера за счет света от проектора с DLP-матрицей. В качестве полимера применяют литейный материал EnvisionTEC EC3000, который имеет в 3 раза больше воска, чем любой материал на основе полимера, включая EC500. Он не кипит во время выгорания, что является основной причиной пористости в процессе литья среди конкурирующих продуктов (http://envisiontec.com/3d-printing-materials/perfactory-materials/).

EPIC смолы EnvisionTEC были разработаны для прямого литья по выплавляемым моделям продукции для ювелирного рынка. Они предлагают отличные выгорают свойства и построить с самым высоким качеством и чёткость. Материалы могут обрабатываться на всех системах Perfactory®.

Изделия, создаваемые из смолы PIC100 M, полностью выжигаются в заданном температурном цикле без зольности, а также обладают очень низким коэффициентом температурного расширения. Этот материал оптимален для производства литых изделий из драгоценных металлов, требующих очень гладких поверхностей (http://cybercom.ru/catalog/materials-for-3d-printers/envisiontec-materials/420/).

**Двигатели переменного** тока бывают синхронные и асинхронные. Синхронные двигатели называются так потому, что частота вращения ротора жестко связана с частотой тока в питающей сети, или, иными словами, частота вращения магнитного поля, создаваемого обмотками статора, строго согласована (синхронна) с частотой вращения ротора. В асинхронных электродвигателях частота вращения ротора отстает от частоты вращения магнитного поля статора, т. е. ротор вращается асинхронно по отношению к магнитному полю статора.

 Из-за сложности конструкции и недостатков эксплуатационных характеристик синхронные электродвигатели применяются редко.

Наибольшее распространение получили асинхронные двигатели; они просты в производстве и надежны в эксплуатации.

Конструкция, мощность и размеры асинхронных двигателей зависят от их назначения и условий работы. Например, обычные двигатели с воздушным охлаждением применяются в металлообрабатывающих Станках, в электрофуганках, для привода циркулярных пил, в лифтах, электропроигрывателях и т. д.; двигатели в герметичном корпусе и маслонаполненные — в электробурах; взрывобезопасные — для работы в шахтах и взрывоопасных помещениях; шаговые — в следящих системах, устройствах автоматики и телемеханики.

У обычного электродвигателя переменного тока статор представляет собой стальное кольцо с обмоткой. В линейном двигателе кольцо как бы разрезано и распрямлено. При этом статорные обмотки уложены на плоскости вдоль всего пути, по которому движется транспорт.

**Для двигателей** малой мощности, работающих при суще­ственно меньших давлениях и температурах, вместо нержавею­щих сталей во многих случаях можно использовать низкоугле­родистую сталь, алюминий и латунь.

При изготовлении прототипов двигателей возможно использование SLS-технологии, которая относится к категории Powder Bed Fusion согласно классификации ASTM и заключается в следующем. Модельный материал – полистирольный порошок с размером частиц 50-150 мкм накатывается специальным роликом на рабочую платформу, установленную в герметичной камере с атмосферой инертного газа – азота. Лазерный луч «пробегает» там, где компьютер «видит» в данном сечении CAD-модели «тело», как бы «заштриховывая» сечение детали, как это делает конструктор карандашом на чертеже. В этом случае лазерный луч является источником тепла, под воздействием которого происходит спекание частичек полистирола (рабочая температура около 120°С). Затем платформа опускается на 0,1-0,2 мм, и новая порция порошка накатывается поверх отвержденного – формируется новый слой, который также спекается с предыдущим. Процесс повторяется до полного построения модели, которая в конце процесса оказывается заключенной в массив неспеченного порошка. Далее модель извлекают из машины и очищают от порошка. Преимуществом данной технологии является отсутствие поддержек, поскольку во время построения модель и все её строящиеся слои удерживаются массивом порошка. Имеющиеся на рынке машины фирм 3D Systems и EOS позволяют строить достаточно крупные модели размерами до 550х550х750 мм без необходимости склейки отдельных фрагментов, что повышает точность отливки и надежность, особенно вакуумного литья. При этом возможна высокая детализация построения моделей: могут быть построены поверхностные элементы (номера деталей, условные знаки, надписи и пр.) с толщиной фрагментов до 0,6 мм; гарантированная толщина стенки модели – до 1,5 мм. Технологии литья по восковым и полистирольным моделям принципиально не отличаются, поскольку используются одинаковые формовочные материалы, литейное и вспомогательное оборудование. Отличия заключаются в том, что восковая модель – «выплавляемая», а полистирольная модель – «выжигаемая», а также в нюансах формования и термообработки опок, имеющих немаловажное значение. При работе с полистирольными моделями выделяются требующие нейтрализации горючие газы: материал частично выгорает в самой форме, в результате чего возникает опасность образования золы и засорения формы, поэтому необходимо предусмотреть возможность стекания материала из застойных зон. Безусловным требованием является использование прокалочных печей с программаторами, так как программа выжигания полистирола существенно отличается от программы вытапливания воска. При определенном навыке и опыте литье по выжигаемым полистирольным моделям дает хороший результат (Зленко, 2015).

**Архитектурное моделирование** (макетирование) было и остается популярным направлением быстрого прототипирования. При этом создаются макеты из пластика, дерева, картона или пенопласта, а прочный колпак из оргстекла надежно защитит его от влаги и пыли. 3d прототипирование ландшафтных моделей, прототипов зданий, интерьеров квартир и служебных помещений преимущественно выполняют на основе керамического порошка или гипса. Такие прототипы отличаются хорошей прочностью и ценой, более низкой, по сравнению с полимерными изделиями. Данные изделия тоже могут быть произведены сразу в необходимом цвете, что позволит их использовать без последующего окрашивания (http://www.ap-proekt.ru/bystroe-prototipirovanie.htm).

Дизайнеры Picoroco Building Block напечатали прототипы домов из самых различных материалов, включая цемент, песок, пластик, акрил, керамику и даже соль (http://www.vzavtra.net/materialy/picoroco-building-block-novye-stroitelnye-bloki-ot-emerging-objects.html).

В настоящее время возможно создание здания, имея только виртуальный прототип, т.к. уже созданы роботизированные комплексы для «печати» быстротвердеющими бетонными смесями. Андрей Руденко из Миннесоты создал экструзионный 3D-принтер для строительства зданий ([www.iflscience.com/tags/3d-printing](http://www.iflscience.com/tags/3d-printing)).

Китайская компания Shanghai WinSun Decoration Design Engineering реализует проект по созданию принтеров для постройки зданий с использованием индустриальных отходов в качестве строительного материала. Первые десять домов построены в течение одних суток ([www.3dprinterplans.info/tag/china/](http://www.3dprinterplans.info/tag/china/)).

**Промышленный робот** обладает подвижной физической структурой, электродвигателем определенного рода, системой сенсоров (датчиков, органов чувств), блоком питания и компьютерным «мозгом», который контролирует все эти элементы. По существу, роботы — это техногенные версии животной жизни. Это машины, которые копируют поведение людей и животных. Вследствие того что, робот стоит из различных деталей, то его тело создают из одних материалов, а управление осуществляется за счет классической электроники, или ее компоненты также могут быть напечатаны.

Для моделирования и быстрого прототипирования подходит поликапролактон (Поликапролактан, Протопласт, ShapeLock, Polymorph, Полиморф, Полиморфус) имеющий температуру плавления около 60 градусов по Цельсию. При этом он становится прозрачным, мягким и пригодным для лепки.   
Охладившись до комнатной температуры, пластик становится белым, твердеет и становится похож на обычную пластмассу, причём очень прочную и не ломкую. Так же важно, что возможно повторное использование пластика – достаточно его нагреть и можно снова придать изделию новую форму. Однако это же накладывает ограничения на готовые изделия – их не стоит подвергать нагреву более 60 градусов (т.к. пластик начнёт плавиться) (http://protoplast.ru).

Для прототипирования можно использовать роботехнические конструкторы (Lego, Mindstorms, RCX, NXT, EV3, Tetrix, Matrix, Fischertechnik, Vex, Vex IQ, Vex PRO, BIOLOID, ARDrone). Промышленные решения возможны при использовании оборудования фирм ABB, KUKA, National Instruments, dSpace и др. Промышленных роботов создают также из нержавеющей стали и алюминия.

Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с.

1. В сочетании с какими известными технологиями машиностроения используют возможности 3D-печати? (*приведите не менее трех примеров с обоснованием)*

В разных отраслях машиностроения 3D принтеры с каждым днем находят все больше применений. Установки быстрого прототипирования [EnvisionTEC](http://www.printcad.ru/equipment/3d-printers/EnvisionTEC/) применяют для проверки собираемости, функциональности, изготовления элементов из термопластиков и фотополимеров, изготовления форм для точного литья по выжигаемым моделям. Системы аддитивного производства [Concept Laser](http://www.printcad.ru/equipment/3d-printers/concept-laser/) используют в тех случаях, когда выпуск изделия из металла невозможен из-за технологических ограничений традиционных технологий – создание сложных замкнутых форм, внутренних каналов или бионической структуры. Уже доказано, что изделия, произведенные с использованием на 3D-принтеров по своим свойствам: плотности, остаточному напряжению, неравновесной микроструктуре, кристаллографической текстуре – в лучшую сторону отличаются от изделий, созданных литейным и деформационными методами (Horn, 2012).

Применение аддитивных технологий в различных отраслях машиностроения обеспечивает:

* изготовление сложнопрофильных и уникальных деталей без использования механических обрабатывающих станков и дорогостоящей оснастки;
* повышение рентабельности производства малой серии и эксклюзивных вариантов;
* устранение влияния "человеческого" фактора при изготовлении деталей: построение детали проводится в полностью автоматическом режиме;
* снижение веса деталей за счет уменьшения толщины стенок, элементов, создания сотовых и иных структур (т.н. бионического дизайна);
* возможность создания комплексных, интегрированных деталей за один технологический цикл;
* отсутствие в деталях литейных дефектов и напряжений;
* управление физико-механическими свойствами создаваемого изделия (http://www.printcad.ru/primeneniya-3d-printerov/mashinostroenie.html).

Современные системы 3D-печати позволяют быстро и качественно решать самый широкий круг задач, стоящих перед инженерами и конструкторами в машиностроительной отрасли. 3D-принтеры становятся незаменимы как на этапе создания концептуальных образцов, так и для производства готовых изделий.

* [**Прототипы для тестирования**](http://3d.globatek.ru/3d-printers/functional_testing/). Изготавливайте прототипы будущей продукции до запуска серийного производства, тестируйте, проверяйте свойства, прочность, функциональность, устраняйте недочеты.
* [**Корпуса для приборов и компонентов устройств**](http://3d.globatek.ru/3d-printers/corpusprint/)**.** Уникальные корпуса, стенки, крепежи и другие приспособления для электронных приборов и механизмов, которые обеспечат надежную работу ваших разработок.
* [**Производственная оснастка**](http://3d.globatek.ru/3d-printers/osnastka/)**.** 3D-печать — это возможность быстро изготавливать удобную и эффективную оснастку для ускорения производства.
* [**Литейные модели**](http://3d.globatek.ru/3d-printers/casting_models/)**.** На 3D-принтере вы можете изготавливать высокоточные восковки, выжигаемые модели, образцы для литья в силикон.
* [**Готовые к эксплуатации изделия**](http://3d.globatek.ru/3d-printers/ready_use/)**.** Печатайте детали, которые сразу можно использовать в производстве: детали механизмов, части для ремонта, элементы двигателей и конструкций, инструменты (http://3d.globatek.ru/3d-printers/machinery).

Пермский моторный завод «Авиадвигатель» технологию селективного лазерного спекания (SLS) применили в 2010 году для изготовления литых деталей по выжигаемым моделям. С 2011 года осуществляет ремонт деталей методом лазерной наплавки (LMD). В 2013 году началось освоение выращивания металлических деталей по технологии селективного лазерного плавления (SLM).

Также при помощи аддитивных технологий завод выполняет работы по доводке деталей для двигателей наземного применения — газовых турбин и электростанций (http://www.up-pro.ru/library/modernization/technologies/additive-russia.html).

В настоящее время стало появляться множество гибридных технологий, которые «на своем борту» имеют как аддитивный модуль, так и субтрактивный (чаще всего оснащенный высокоскоростным фрезерным шпинделем). В итоге изделие сначала строится по слоям, а потом передается в модуль механообработки с ЧПУ. Из этого разряда интересной представляется технология ультразвукового аддитивного производства Ultrasonic Additive Manufacturing (UAM), разработанная компанией Solidica, которая позволяет объединять слои разнородных металлов под действием трения и последующей сварки, а после выполнять фрезерование баз или ответственных поверхностей. Одна из самых последних разработок – установка LUMEX Avance-25 от компании Matsuura, в которой используется технология гибридного производства пресс-форм путем спекания металла посредством лазера (Metal Laser Sintering Hybrid Manufacturing) с завершающим техпроцесс фрезерованием высокоскоростным шпинделем (http://www.umpro.ru/index.php?art\_id\_1=583&group\_id\_4=74&m\_id\_4=31&page\_id=17).

При создании и разработке самих 3D принтеров используются аддитивные технологии.

T. Horn. Overview of current additive manufacturing technologies and selected applications. Science Progress, 2012, v. 95, p. 255-82.

1. В каких промышленных производствах возможно использование аддитивных технологий в промышленном масштабе? *(приведите не менее трех примеров с обоснованием)*

Новым мировым трендом являются аддитивные технологии. Влияние 3D-печати может оказаться подобным внедрению мануфактуры. Считается, что аддитивные технологии вместе с наноэлектроникой, оптоинформатикой, фотоникой, био-, CALS-технологиями, системами искусственного интеллекта и др., составят ядро шестого технологического уклада, определят будущее науки и промышленности (Степанова, 2015).

Наиболее ранним применением аддитивного производства было быстрое прототипирование, нацеленное на сокращение времени разработки новых частей и устройств. Аддитивные технологии могут быть использованы в разных отраслях производства и применяться в промышленном масштабе (Валетов, 2015).

Например, в **электронной промышленности** при создании различных микроэлектронных элементов: токопроводящих соединительных элементов, нагревательных элементов, резисторов, контактных площадок методом струйной высокопрецизионной печати функциональными наночернилами на основе высококонцентрированных дисперсий наночастиц на различных типах подложек: полиимидная пленка, фотобумага, полимерные пленки, керамика, стеклотекстолит, стекло (Ким и др., 2016). Актуальность использования методов аддитивной печати обусловлена рядом преимуществ: расширение технологических возможностей применения гибких электронных устройств; упрощение технологического цикла проектирования и изготовления электронных плат; сокращение количества технологических операций; снижение энергозатрат; существенное повышение экологичности технологического процесса.

При достаточно высокой динамике развития масштабной 3D-печати аддитивные технологии играют значимую роль и в миниатюризации электроники. Одним из наиболее известных разработчиков комплексных методов систем 3D печати на микронном уровне для применений в электронике, биомедицине, фотовольтаике, авиакосмической и оборонной промышленности считается компания Optomec. Её системы используют запатентованную технологию Aerosol Jet для печати электронных компонентов и технологию LENS для 3D печати из металла (http://www.optomec.com). В прошлом году Optomec анонсировала технологию 3D-печати полимерных и композитных структур с возможностью нанесения материалов на готовые изделия сложной формы. Разрешение системы в горизонтальной плоскости достигает 10 микрон, а толщина слоев может варьироваться от 1 микрона до 100 нанометров. Таким образом, аддитивные технологии расширяются до традиционной сферы разработок микроэлектроники, производства электронных компонентов и систем.

Представители компании утверждают, что 3D печать возможна на поверхностях практически любой формы при минимальном использовании опорных структур. Кроме того, технология позволяет печатать композитными материалами. Другими словами, возможна печать микроплат, сверхмалых медицинских аппаратов, микрожидкостных систем и т.д.

В основе процесса лежат принципы, схожие с другими методами 3D-печати: для выращивания моделей используются фотополимерные материалы, наносимые системой газового напыления и сразу же отверждаемые ультрафиолетом. Если необходима печать токопроводящих структур, поверх свеженанесенного полимерного материала напыляются чернила с металлическими наночастицами, а затем наносятся новые полимерные или композитные слои.

Использование аддитивных технологий в **авиастроении** направлено на повышение надежности деталей, снижение энерго- и материалоемкости производства, трудоемкость производства, а также дают возможность восстанавливать изношенных и поврежденных элементов (Шестакова, 2013). Компания GE Aviation – один из крупнейших поставщиков самолетных двигателей в последнее время стала изготавливать топливные форсунки с помощью 3D печати вместо литья и сварки. Каждый двигатель будет содержать от 10 до 20 форсунок, таким образом, на протяжении 3 лет GE нужно выпускать по 25 000 штук за год. Выбор новой технологии компания связывает с меньшим расходом материала для аддитивного производства. Это понижает издержки и дает возможность самолетам экономить топливо, потому что модели получаются более легкими. Общепринятый метод заключается в том, что в одну деталь соединяются примерно 20 мелких компонентов – такой процесс требует большой затраты труда и значительного количества материала, от которого остается много отходов. В данном случае применяют порошок из хрома и кобальта. Компьютер управляет лазером, который плавит его в указанных местах, создавая слои толщиной 20 мкм. Такой способ является более быстрым, нежели ручная сварка, поскольку устройство может работать круглые сутки (<http://www.geaviation.com/press/services/services_20150306.html>; <http://www.3dindustry.ru/article/358/>).

Во Всероссийском научно-исследовательском институте авиационных материалов впервые в России изготовили по аддитивной технологии с применением отечественной металлопорошковой композиции деталь перспективного авиационного двигателя ПД-14 (завихритель «фронтового» устройства камеры сгорания). Это позволило в 10 раз сократить трудоемкость ее изготовления и повысить коэффициент использования металла в 3−5 раз (http://viam.ru/news/2491).

Известны случаи создания беспилотных летательных аппаратов прямо на авианосце с помощью 3D принтера. Британский патрульный корабль Protector вместо использования вертолетов для определения маршрута, свободного ото льда, отправил на разведку такой дрон. Рыбинское КБ «Луч» совместно с  «Ростехом» реализовали проект по созданию летательного аппарата при помощи аддитивных технологий, который показали на выставке Армия-2015. Технические характеристики российского беспилотника-демонстратора были следующие: масса - 3,8 кг, размах крыла 2,4 м, длина 1,6 м, скорость полета 90-100 км/ч, продолжительность полета 1-1,5 часа, силовая установка - электродвигатель. Все детали беспилотника создаются в одной камере в течение 31 часа по безлюдной технологии. Все детали были изготовлены и собраны за две рабочие смены. Срок разработки от идеи до появления первого образца при полном отсутствии опыта составил всего 2,5 месяца. Стоимость изготовления демонстратора была менее 200 тысяч рублей, включая стоимость порошка и работы оборудования (Петров, 2016).

В нашей стране в ходе Международного авиационно-космического салона 2015 г. проходила конференция «Цифровые и аддитивные технологии для авиапромышленного комплекса», на которой были представлены передовые разработки в этой области.

Широкие перспективы открываются для использования аддитивных технологий в **автомобилестроении**. В частности, при изготовлении блока цилиндров. Для изготовления первого опытного образца традиционными методами требуется не менее 6-ти месяцев, причем основные временные затраты приходятся на создание модельной оснастки для литья «в землю». Использование для этой цели технологии Quick-Cast (выращивание литейной модели из фотополимера на SLA-машине с последующим литьем по выжигаемой модели) сокращает срок получения первой отливки с полугода до двух недель! Особое значение AF-технологии имеют для ускоренного производства литейных деталей. AF-машины используются для получения: литейных моделей, мастер-моделей, литейных форм и литейной оснастки (Зленко, Забеднов, 2015).

Аддитивные технологии позволяют решать задачу по созданию несущей конструкции автомобиля, рассчитанную на различные варианты двигателей и энергоаккумулирующих систем, которых становится все больше. В рамках совместного проекта немецкие компании EDAG Engineering (Висбаден), Laser Zentrum Nord (Гамбург), [Concept Laser](http://pechatnick.com/out?t=1&mid=29258&url=http%253A%252F%252Fprintcad.ru%252Fequipment%252F3d-printers%252Fconcept-laser%252F" \t "_blank) (Лихтенфельс), а также итальянская BLM Group (Канту) методом гибридного производства изготовили бионический каркас кузова. Перед ними стояла задача найти новые подходы к универсализации кузова и реализовать их в виде прототипа. Такие прототипы можно легко адаптировать на производстве, обеспечивая выпуск расширенного модельного ряда автомобилей — рассчитанных на различные двигатели и уровни нагрузки. Каркас состоит из изготовленных по аддитивной технологии узловых элементов и обработанного на лазерном оборудовании профиля. Благодаря преимуществам аддитивного производства, узловые элементы удалось сделать многофункциональными и адаптируемыми. Соответственно, в режиме «по требованию» можно выпускать различные модификации кузовов — без дополнительных инструментов, затрат и оборудования. Сочленяют узловые элементы отрезки стального профиля. При необходимости его тоже легко адаптировать под нужные нагрузки, варьируя толщину и геометрию стенок. В рамках проекта EDAG Engineering отвечала за разработку и оптимизацию каркаса, а также за общую координацию, Laser Zentrum Nord — за лазерную сварку, BLM Group — за гибку и лазерную резку. Компания Concept Laser взяла на себя аддитивное производство узловых элементов. Успешная реализация концепции стала возможной только благодаря сотрудничеству партнеров из разных отраслей и высочайшему уровню квалификации их специалистов (Черныш, 2016).

Для повышения надежности автомобилей материалы должны быть не только прочными, но и обладать такими качествами, как химическая инертность, износоустойчивость и термостойкость. В современном автомобилестроении наблюдается замещение металлических деталей более легкими деталями, изготовленными из полиэфирэфиркетона (РЕКК). Благодаря полукристаллической структуре PEEK может эксплуатироваться при температурах, заметно превышающих температуру стеклования в 143°C, что делает этот материал идеальным выбором для автомобильного сектора, где части трансмиссий и двигателей большую часть времени работают при температурах свыше 150°C. Детали из PEEK соответствуют требованиям благодаря температуре плавления в 343°C и эксплуатационному порогу в 260°C. Помимо механической стойкости, PEEK еще и химически инертен. Это важное свойство для деталей трансмиссии и других узлов, находящихся в прямом контакте с маслами или топливом. Благодаря замене металлов на PEEK можно добиться снижения массы отдельных частей на 70%, что позволяет сокращать расход топлива на 1-2%. Кроме того, темпы износа деталей из PEEK на 25-75% ниже, чем у металлических аналогов, к тому же детали более устойчивы к износу при недостатке смазки. Наконец, замена металлов на PEEK снижает уровень производимых шумов. Самым эффективным методом производства деталей из PEEK является 3D-печать, позволяющая создавать компоненты сложной геометрической формы, непосильной для традиционных производственных методов. Еще более важна экономия расходных материалов (http://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/the-use-of-3d-printing-polymer-peek-in-the-automotive-industry).

Еще одним направлением может стать **создание новых композитных материалов**, например, дисперсно-упрочненных металлических композиционных материалов (ДМКМ). Они состоят из металлической матрицы, равномерно армированной различными упрочняющими частицами. В качестве матрицы могут применяться стали и сплавы на основе Fe, Al, Ni, Ti и др. элементов. Роль упрочняющих частиц чаще всего выполняют карбиды (SiC, TiC, WC, NbC), оксиды (Al2O3, TiO2) и бориды (ZrB2, TiB2).

Благодаря комплексному механизму упрочнения, а также сочетанию металлической и керамической составляющей ДМКМ обладают уникальными свойствами, включая высокую прочность, твердость, сопротивляемость износу и коррозии, устойчивость к окислению, стабильность при повышенных температурах, что делает их перспективными для применения в авиакосмической и автомобильной промышленности, а также в энергетическом машиностроении [1], [2].

АМ-технологии используется в **медицинской промышленности**, в частности при изготовлении медицинских инструментов. Формирование покрытий из нержавеющих сталей аддитивным методом сверхзвуковой лазерной наплавки. Используемый при этом сплав марки 316L нашел широкое применение благодаря его высоким механическим характеристикам, биосовместимости, устойчивости к коррозии, а также высоким усталостным характеристикам. Благодаря данным характеристикам обеспечивается длительный срок службы медицинских инструментов. Пластичность, свариваемость и дешевизна данного сплава выше по сравнению с другими металлическими биоматериалами (Горунов и др., 2016).

Большие перспективы открываются при применении струйной/капельной 3D-печати в тканевой инженерии для создания искусственных органов. Технология основывается на нанесении слоев живых клеток на гелевый субстрат или сахарный матрикс, с постепенным послойным наращиванием для создания трехмерных структур, включая сосудистые системы. Первая производственная система для 3D-печати тканей, основанная на биопечатной технологии NovoGen, была представлена в 2009 году. Один из пионеров 3D-печати, исследовательская компания [Organovo](http://3dtoday.ru/industry/organovo-i-nih-obedinyayut-usiliya-po-3d-pechati-zhivykh-tkaney.html), проводит лабораторные исследования и развивает производство функциональных трехмерных образцов человеческих тканей для использования в медицинских и терапевтических исследованиях. В **фармацевтической промышленности** биопечать позволит ускорить тестирование новых медицинских препаратов перед клиническими испытаниями, что позволит экономить время и средства, вкладываемые в разработку лекарств. В долгосрочной перспективе Organovo надеется адаптировать технологию биопечати для создания трансплантатов и применения в хирургии (http://organovo.com/tissues-services/3d-human-tissues-medical-research-therapeutics/).

3D-печать используется для создания имплантатов и устройств, применяемых в медицине. Успешные операции включают такие примеры, как вживление [титановых тазовых и челюстных имплантатов](http://3dtoday.ru/industry/arcam-shvedskiy-lider-3d-pechatnoy-revolyutsii.html), а также [пластиковых трахеальных шин](http://3dtoday.ru/industry/3d-printed-bus-for-trachea-helped-to-survive-another-child-with-the-diagnosis-tracheobronchomalacia.html). Наиболее широкое применение 3D-печати ожидается в производстве слуховых аппаратов и стоматологии. В марте 2014 года хирурги из Суонси использовали 3D-печать для реконструкции лица мотоциклиста, получившего серьезные травмы в дорожной аварии (http://3dtoday.ru/wiki/3D\_print\_technology).

Валетов В. А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы). Учебное пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2015. 63с.

Горунов А.И., Попов Е.С., Гильмутдинов А.Х. Формирование покрытий из нержавеющих сталей аддитивным методом сверхзвуковой лазерной наплавки // Материалы II Международной конференции «Аддитивные технологии: настоящее и будущее», 16 марта 2016 г., Москва.

Зленко М., Забеднов П. Аддитивные технологии в опытном литейном производстве. Технологии литья металлов и пластмасс с использованием синтез-моделей и синтез-форм// http://www.ksystec.ru/download/additiv\_tech.pdf

Ким В.П., Ткачев С.В., Корнилов Д.Ю. , Губин С.П., Технология струйной печати в электронной промышленности // Материалы II Международной конференции «Аддитивные технологии: настоящее и будущее», 16 марта 2016 г., Москва.

Петров А. Ударные группы дронов: что знают в России про 3D-печать палубной авиации? // ФБА «Экономика сегодня»...Источник: http://rueconomics.ru/170698-udarnye-gruppy-dronov-chto-znayut-v-rossii-pro-3d-pechat-palubnoi-aviacii http://rueconomics.ru/170698-udarnye-gruppy-dronov-chto-znayut-v-rossii-pro-3d-pechat-palubnoi-aviacii

Степанова Е.Ю. Аддитивные технологии как прорывные технологии тнновации ресурсосбережения 21 века //Энерго- и ресурсосбережение – XXI век.: материалы XIII международной научно-практической интернет-конференции, 15 марта – 30 июня 2015 г., г. Орёл / Под редакцией д-ра техн. наук, проф. О.В. Пилипенко, д-ра техн. наук, проф. А.Н. Качанова, д-ра техн. наук, проф. Ю.С. Степанова. – Орёл: Госуниверситет-УНПК, 2015. c/ 124-128.

[Черныш О.](http://pechatnick.com/users/17051) Аддитивные технологии в автомобилестроении // http://pechatnick.com/articles/additivnie-tehnologii-v-avtomobilestroenii?rnid=91

Шестакова Е.А. Применение аддитивных технологий для получения деталей и узлов летательных аппаратов/ Шестакова Е.А., Янбаев Р.М., Янбаев Ф.М., Шайхутдинова Е.Ф.// В сборнике: Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики "АНТЭ-2013" Международная научно-техническая конференция: сборник докладов. Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. 2013. С. 106–114.

Шишковский И. В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения. СПб.: Изд-во Питер, 2015. 348 с.

M. Gaikwad , G. L. Whiting, D. A. Steingart etc. «Highly Flexible, Printed Alkaline Batteries Based on Mesh-Embedded Electrodes». Advanced materials. 2011, 23, р. 3251–3255.