

Бионический дизайн и SLM-технология в корпусных конструкциях электроники будущего

Андрей Кашкаров

Роботизированная техника с помощью ИИ и 3D-технологий помогает разрабатывать корпусные изделия для РЭА качественнее, быстрее и эстетичнее. Иногда важен каждый грамм веса без потери надёжности конструкции, как в аэрокосмических разработках или специальной РЭА. Заметна тенденция в создании инновационных корпусов для РЭА: от бытовых переносных систем до монтажных шкафов с модульным размещением электронного оборудования, эффективной системой расположения модулей и вентиляции – для серверных и специальных установок. Статья будет полезна разработчикам РЭА, а также инженерам-конструкторам и технологам в области проектирования модульных, пластиковых и металлопрофильных конструкций корпусов для РЭА, монтажных, в том числе встраиваемых, шкафов, руководителям предприятий и отраслевым аналитикам.

Определение, польза и перспективы бионического дизайна в электронике

В рамках традиционного подхода наиболее часто используемыми терминами для обозначения бионического тренда являются «бионика», «биомиметика» и «биомимикрия». В английском

языке чаще всего используются слова и словосочетания Bionics, Biomimetics, Biomimesis, Biomimicry, Bionic Design, Bionically/Biologically/Bio-Inspired Design/Engineering [1]. Разные авторы вкладывают неодинаковые оттенки смысла в понятия, а принятых безусловно всеми определений пока не существует. Но по смыслу определе-

ния бионики объединяет идея заимствования принципов организации, свойств, функций, структур и материалов из живой природы с целью улучшения существующих и создания не менее совершенных технических, в том числе электронных, систем.

В названии и назначении технологии конструирования корпусов для РЭА бионический дизайн называют также генеративным (он же параметрический). Это действующий и развивающийся инструмент, позволяющий относительно быстро сделать из привычной формы с классическими ровными гранями креативную, привлекательную и нетрадиционную. Конструирование в этой области является не только интересным, но и перспективным.

Бионический дизайн в электронике связан с использованием принципа натуральности в формировании структуры и функционала устройств РЭА, подсказанного человеку живой природой. Такой подход уже оправдал себя: он расширил возможности создания более лёгких, прочных, эффективных и эстетически привлекательных электронных устройств, используя компьютерное моделирование, иначе – топологическую оптимизацию. 3D-печать помогает в воплощении сложных природных форм, таких, например, как соты, кости или паутина, что позволяет экономить материал и улучшать эргономические и функциональные (эффективная вентиляция, антивандальная стойкость, взрывоустойчивость и др.) характеристики электронных устройств в робототехнике, аэрокосмической отрасли и бытовых приборах.

Главная польза бионического дизайна – снижение веса изделия при сохранении (или увеличении) прочности конструкции. Инновационные решения уже используют в сферах, где важно сэкономить каждый грамм: космические аппараты, авиастроение и БПЛА, компьютерное оборудование, гаджеты, специальная техника со зна-



Рис. 1. Вид на типовой листовой корпус РЭА серверного шкафа с активной системой вентиляции стандарта 19"

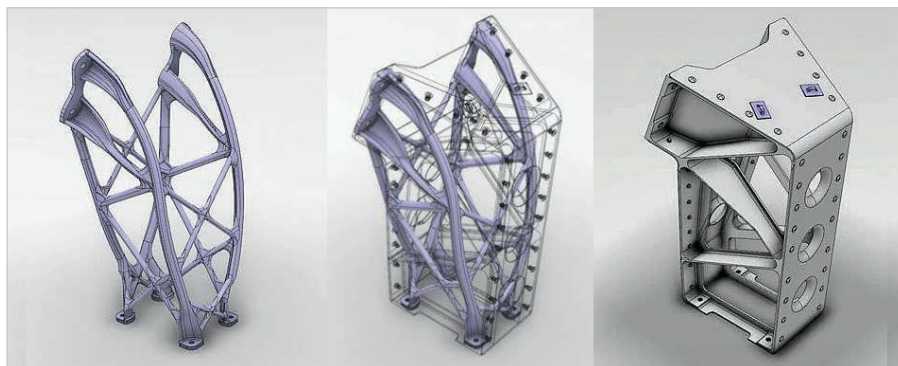


Рис. 2. Стадии конструирования инновационного корпуса для крепления плат и моделей РЭА

чительным тепловыделением, машиностроение и др.

Другая смежная задача – экономия дорогих материалов, сложных сплавов с применением редких и драгоценных металлов. Бионический подход в проектировании РЭА позволяет тратить на корпусные конструкции и элементы на 30–50% меньше материала, что положительно влияет на себестоимость изделий и прибыль от их реализации.

Престижные жилые кварталы, воплощающие в себе креативные дизайнерские решения в архитектуре; необычные модельные решения в ландшафте и одежде; пологие (обтекаемые) формы современных электромобилей, пришедшие на смену угловатости, преимущество облегчённых материалов перед традиционными чугунными батареями XX века – всё это следствие технической эволюции. Конечно, давно настало время совершенствовать внешний вид шкафов и корпусов для электронных устройств. К слову, в странах с развитыми технологиями этому уделяют большое внимание на протяжении последних 20 лет.

Необычные формы новой корпусной техники – актуальный тренд современной электроники в России. Разработчики инновационного оборудования принимают в расчёт задачи и стандарты для обеспечения эффективного охлаждения РЭА (внутри шкафа), высокой точности изготовления, надёжной защиты от электромагнитных помех для удобства монтажа и обслуживания. Современные шкафы для РЭА соответствуют принятым в России ТУ и ГОСТ 12.2.007.0–75 с экранированием ЭМИ и должны соответствовать требованиям к микроклимату и температурному режиму с рабочей температурой до +45°C при относительной влажности до 80%.

На рис. 1 показан вид сбоку на шкаф из конструкционной гнутой листовой стали DC01 по EN 10130, предназначенный для РЭА большой мощности, применяемый в телекоммуникационных системах серверного оборудования. Корпус соответствует стандартам 19-дюймовых конструктивов (ANSI/EIA-310-D, IEC 60297-3-100), это означает, что ширина шкафа рассчитана точно под размер 482,6 мм. При высоте конструкции 6U (266,7 мм) предусмотрены 4 монтажных уровня с возможностью установки оборудования общим весом до 50 кг. Эффективная система охлаждения с 9 вентиляторами обеспечивает оптимальный температурный режим даже при максимальной нагрузке.

На рис. 2 показан пример разработки с помощью генеративного дизайна инновационного шкафа для РЭА – три стадии дизайнерской разработки и изготовления изделия. Внутренняя структура в этой конструкции предусматривает зонированное охлаждение и съёмные панели для обслуживания. Система охлаждения включает 9 вентиляторов с суммарным расходом воздуха до 800 м³/ч: все резьбовые отверстия М6, шаг по стандарту 1U (44,45 мм). В области бытовой электроники и гаджетах разработка корпусов и внутренних компонентов (модулей) с улучшенной эргономикой, рассеиванием тепла имеет креативное начало: получило популярность разделение потоков охлаждающего воздуха внутри корпуса с РЭА, подобно «венам» растений. На рис. 3 представлен элемент конструкции инновационного шкафа для тех же нужд РЭА, но более лёгкого и функционального, с направленными потоками вентиляции. На этом примере вариативно показано, в каком направлении может развиваться дизайнерская мысль разработчиков корпусной техники РЭА.

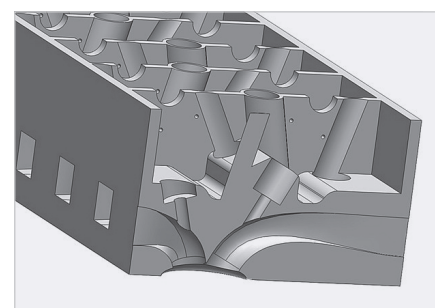


Рис. 3. Элемент конструкции инновационного шкафа для РЭА, но более лёгкого и функционального, с направленными потоками вентиляции

Типичные шкафы для РЭА считаются «сухими», их изготавливают с обязательным антистатическим исполнением, с покрытием краской стандартизированного колера RAL7035 (или аналогичной – если не предусмотрено иное) [3].

К инновационным технологиям для производства корпусов РЭА относятся:

- Metal Jet – метод струйной 3D-печати металлическими и керамическими материалами с применением связующего вещества;
- B1 Sand и SLS Wax – лазерная печать для создания песчаных форм и стержней для литья металлов, а также выплавляемых моделей из порошкообразных материалов (песка, воска, конструкционных пластиков);
- SLM Gradient – лазерная градиентная печать двумя и более металлическими материалами (титан-тантал, медь-никель и т.д.) с плавным переходом состава и свойств. Позволяет создавать новые сплавы, соединения разнородных материалов и производить детали с зонально различными характеристиками.

По той же аналогии для РЭА можно изготавливать корпуса из керамики на основе карбида кремния, изделия из нержавеющей стали, титанового сплава, инконеля, быстрорежущей стали, выплавляемые модели из синтетического воска (по технологии SLS Wax), электрические изоляторы из оксида алюминия (DLP), изделия из прозрачной высокопрочной фотополимерной смолы, композитных материалов с последующей полировкой (SLA) и др. [7].

Перспектива корпусов РЭА со встроенным охлаждением

Развивающийся тренд производства корпусов РЭА со встроенным

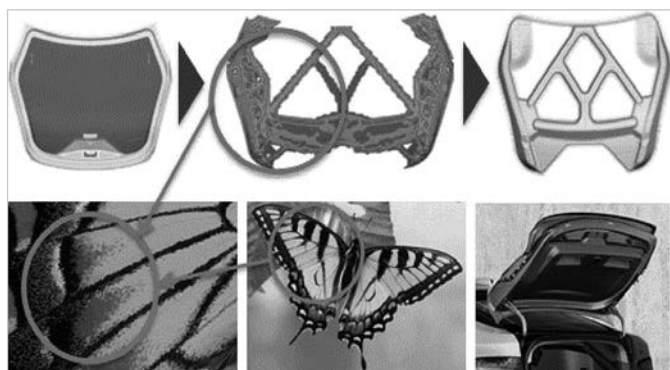


Рис. 4. Разработка Центра компьютерного инжиниринга СПбПУ – результаты топологической и топографической оптимизации крышки багажника автомобиля, сделанной по сходству с крыльями бабочки

охлаждением и обогревом реализуется с помощью вставок в стенки корпуса охлаждающих каналов. Охлаждающая жидкость поступает в них под нагнетаемым насосом давлением. Когда РЭА в монтажном шкафу требуется систематическое охлаждение, этот способ оказывается эффективнее принудительной вентиляции с помощью нескольких кулеров. Для таких случаев сокращения времени охлаждения в корпусах РЭА спроектированы оптимизированные каналы, и вставки напечатаны из порошка марки 18Ni300.

В результате оптимизации температура внутри корпусов снижается до 50°C, цикл охлаждения сокращён со 120 с до 45 с, решена проблема деформации. В итоге эффективность работы РЭА до отказа повышается в 2,5 раза.

Условия, принципы и способы реализации

Элементы, произведённые с помощью генеративного дизайна, отличаются от «штампованных» и типичных техногенных изделий. Креативные формы элементов и конструкций можно визуально идентифицировать по характерным для объектов природы чертам. Поэтому в определении концепции присутствует приставка «био». Другой термин, «генеративный дизайн», используется в связи с тем, что геометрия конструкций автоматически рассчитывается (генерируется) в специальном ПО.

Каждый разработчик корпусов для РЭА несомненно творец, работающий с идеями, вдохновляемый природой. Наиболее успешен тот дизайнер и разработчик, кто чувствует вдохновение, изучая (кроме «матчасти») естествен-

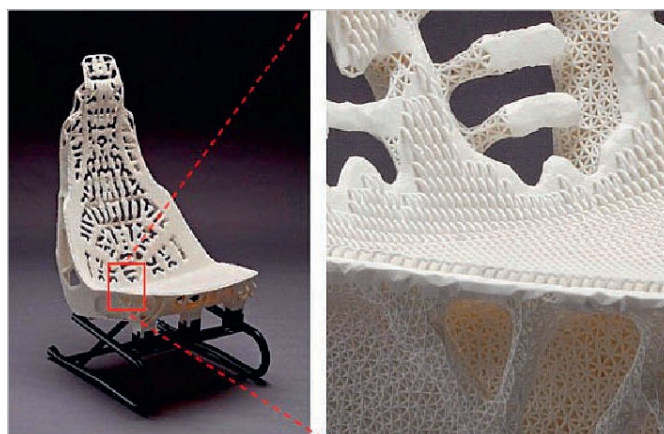


Рис. 5. Кресло инновационной формы в кабинете креативного разработчика электронной техники



Рис. 6. Слева представлен вид изготовленного на производстве крепления для шкафа с электронным оборудованием, справа результат применения бионического генеративного дизайна – вид крепления после оптимизации компьютерными алгоритмами

ные структуры в природных условиях для создания оптимальных форм корпусов электронных конструкций.

Один из примеров, как наблюдения за природой используют в рамках бионики разработчики конструкций из твёрдых материалов, представлен на рис. 4. Это разработка «Центра компьютерного инжиниринга» СПбПУ – результаты топологической и топографической оптимизации крышки багажника автомобиля, сделанной по сходству с крыльями бабочки [1].

К примеру, внимательное изучение необычных форм листьев, костей, раковин, пчелиных сот, форм муравьёв, даже форм облаков и многое другое даёт импульс к креативным решениям и разработкам. Даже «место посадки», удобство для работы имеет значение для конструирования с применением креативных идей.

На рис. 5 показано кресло инновационной формы в кабинете креативного

разработчика электронной техники. Разработки в области бионического дизайна связаны с технологией 3D-печати, с качественным исполнительным оборудованием. А это, в свою очередь, связано с результирующей экономической выгодой.

На рис. 6 (слева) представлен вид штампованного на производстве крепления для шкафа с электронным оборудованием. Начальный вес штампованного крепления – 330 г. Справа на том же рисунке – вид крепления после оптимизации компьютерными алгоритмами как результат применения бионического (генеративного) дизайна. Конечный вес изделия с тем же функционалом составил 165 граммов, что подтверждается на практике экономией примерно 41% материала. Таким образом, при сохранении изначальной жёсткости вес элемента шкафа или кронштейна уменьшается значительно, до 50%.



Рис. 7. Пример лёгких и прочных каркасов, имитирующих скелеты животных, для подвижных роботов

Есть несомненная и перспективная польза для разработчиков РЭА в применении генеративного дизайна для разработки целых корпусов. Так, в области компьютерной оптимизации использование CAE/CAD-программ для математического моделирования и генерации необычных форм, которые не может пока придумать человек.

Топологическая оптимизация связана с алгоритмами ИИ, которые удаляют лишний материал из конструкции, сохраняя её прочность и снижая вес. Технология, позволяющая создавать сложные слоистые структуры с полостями и сетчатыми текстурами, не достижимые традиционными методами, – это известное разработчикам РЭА аддитивное производство (3D-печать).

Примеры практического применения

Создание лёгких и прочных каркасов, имитирующих скелеты животных, для более подвижных роботов активно востребовано в разработках для робототехники. На рис. 7 приведён соответствующий пример аддитивной конструкции для робототехники: представлен корпус робота-исследователя «Геоскан», разработанного в ФГБОУ Институте дизайна РГУ им. А.Н. Косыгина, одном из ведущих образовательных учреждений в области дизайна в России [5].

Пример сотрудничества специалистов, подготовленных на кафедрах промышленного дизайна, и разра-

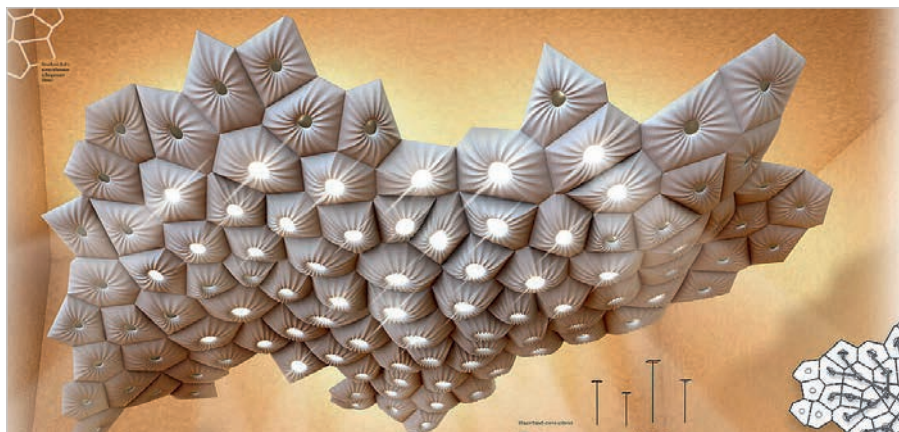


Рис. 8. Разработка интерьерного осветительного прибора для жилых и производственных помещений разной площади

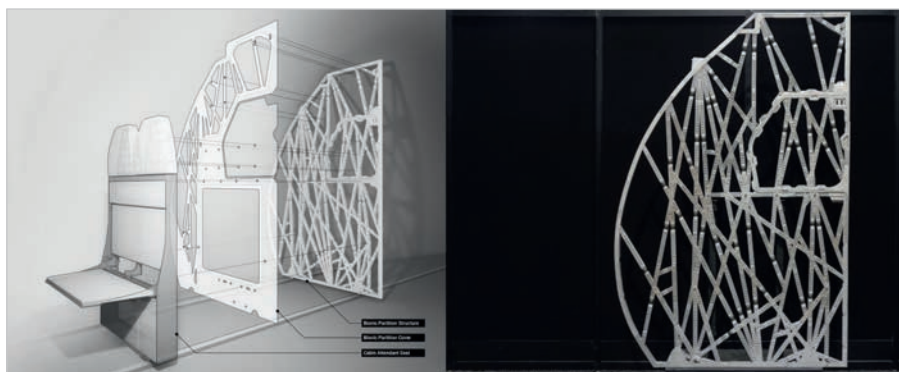


Рис. 9. Модель перегородки самолёта (слева) и готовая металлическая деталь (справа)

ботчиков РЭА весьма перспективен. На рис. 8 представлена разработка интерьерного осветительного прибора для жилых и производственных помещений разной площади. Компетенции в теоретических основах электротехники позволяют разрабатывать такие проекты и реализовывать их на практике. По той же аналогии специалистами разрабатываются корпуса для водных транспортных средств и трансформируемые авто- и электро-мобили, насыщенные электронными системами.

Производитель программного обеспечения для проектирования Autodesk реализует уникальный проект по снижению веса элементов металлоконструкций. Перегородка между пассажирским салоном и отсеком бортопроводников – обычная на первый взгляд стенка внутри самолета, к которой крепятся откидные сидения. Ими пользуются члены экипажа во время полёта. Но этот элемент конструкции должен быть очень прочным, что делает его вес при производстве традиционными способами большим. С помощью моделирования удалось сделать часть корпуса пере-

родки полый, усилив геометрию конструкции сетью металлических креплений специально подобранной формы с учётом обязательных требований к прочности конструкции. Конструкция изготовлена по частям с помощью технологии селективного лазерного плавления порошков.

Технологами и разработчиками учитываются особенности макроскопической плотности эффективного материала в элементах объёма решётчатой структуры изделия. При проектировании корпусов РЭА по новейшей технологии и с необычной структурой применяют принципы бионического дизайна и топони-мической оптимизации. Элементы корпуса, где ожидается относительно высокая нагрузка, расположены на участках максимальной плотности, и наоборот. В итоге вес изделия достиг всего 7 кг вместо 25 кг по сравнению с серийной моделью. Теплоёмкость изделия также снизилась с 35,4 Дж/К до 14,5 Дж/К. За счёт технологии бионического дизайна и оптимизации удаётся достичь лучшего распределения нагрузки в несущей конструкции и снижения веса ВЭУ на 48%.

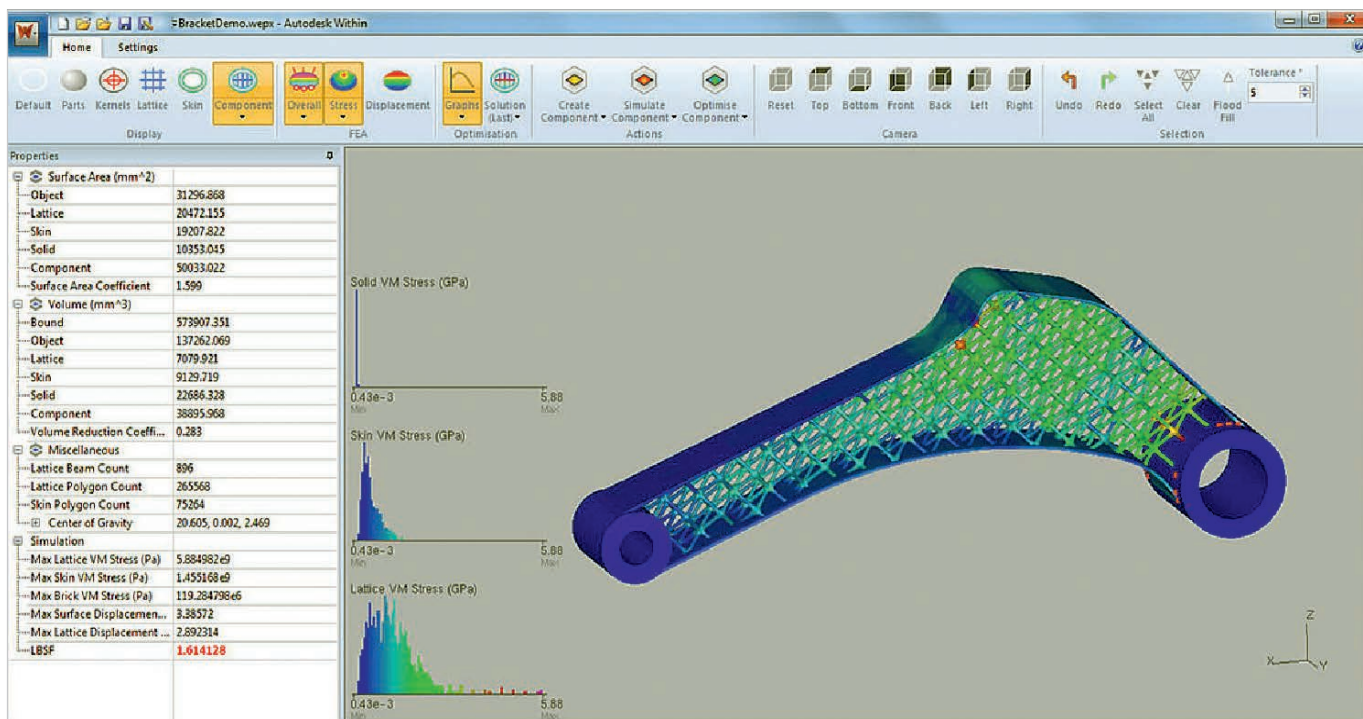


Рис. 10. Иллюстрация окна проектирования в программе Shape Generator



Рис. 11. Н.Г. Басов (слева) и А.М. Прохоров – разработчики КГКС

Пример расчёта с помощью ИИ облегчённой металлической перегородки для самолета показан на рис. 9. Эта заготовка из области самолетостроения приведена как пример. Применение технологии бионического дизайна позволило сделать конструктивный элемент на 45% легче аналогов при сохранении той же прочности.

Некоторые инструменты для проектировщиков

Наиболее известные инструменты для проектирования – программы Shape Generator в составе Autodesk

Inventora и Grasshoper (плагин для ПО «Rhinceros»). Инженеры и дизайнеры начинают осваивать ПО с 2D-моделей, последовательно совершенствуя мастерство. Доводят опыт до уверенного пользователя в 3D Max. Однако в этой прикладной программе с её псевдобионикой много художественных возможностей, но как удобный конструктив для разработчика она небезупречна. Аналоги или подобие моделей, косвенно напоминающих плоды генеративного дизайна, можно получить даже в программах 3D Illustrator и аналогичных.

В профессиональном ПО введён инструмент для замены и моделирования внешних факторов, вследствие чего будет изменяться форма изделия – так дизайн сростается с программированием. Возникла новая профессия или специализации среди конструкторов корпусов РЭА.

На начальном этапе разработки корпусных элементов, впрочем, можно обойтись без обязательного программирования. Сначала моделируется деталь в соответствии с ТЗ, потом в окне программы Shape Generator указываются крепёжные отверстия и прочие элементы, которые не будут изменяться, задаются величины и направления нагрузок и воздействий, а после запускается процесс оптимизации, в результате чего программа оптимизирует разработку, фильтруя второстепенные и ненужные элементы и части конструкции, не обязательные в формировании прочностного каркаса. Программа Autodesk Inventor PRO имеет встроенный модуль генеративного дизайна Shape Generator (рис. 10). Видео, демонстрирующее эту технологию, представлено в [4, 6].

Создание конструкций на основе генеративного проектирования в большинстве случаев возможно с помощью аддитивных технологий (3D-печать). Традиционные методы производства не в состоянии реализовать проекты со сложной структурой нестандартных элементов, кото-



Рис. 12. 3D-принтер по металлу HBD-400

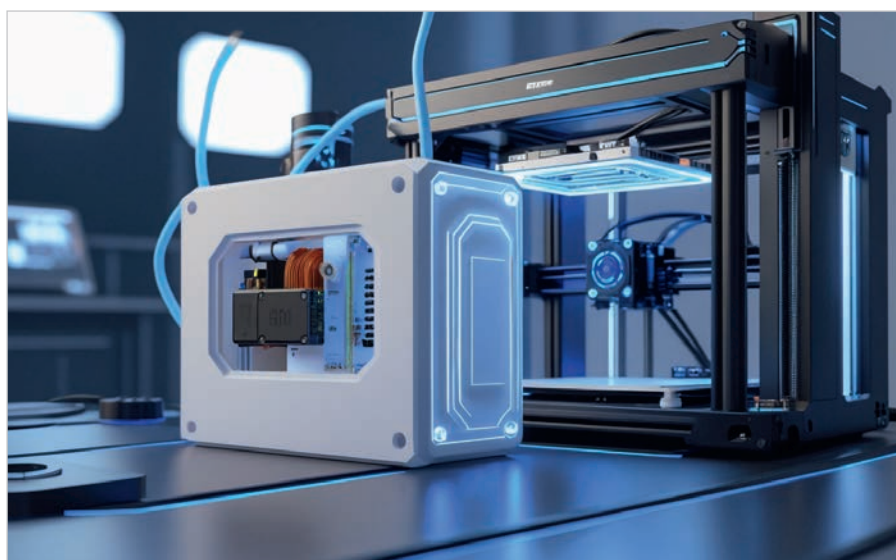


Рис. 13. 3D-принтер для пластиковых корпусов РЭА

рую предлагает бионический дизайн. А с помощью технологии 3D-печати можно изготовить элементы с любой толщиной, искривлениями, полостями, сетчатой и ячеистой структурами. Послойное построение придаёт бионическим объектам большую прочность и устойчивость к нагрузкам.

Наиболее популярными технологиями 3D-печати, применяемыми для изготовления объектов с бионическим дизайном, являются селективное лазерное плавление металлических порошков (SLM) и селективное лазерное спекание полиамидных порошков (SLS). В современных шкафах для обслуживания РЭА, в том числе релейных, также уместно задействовать процесс оптимизации формы с сохранением требуемых характеристик [1].

Об этом писали в начале XXI века как о концептуальных моделях будущего, а теперь уже несколько лет как дело дошло до предметной реализации. Первые новые корпуса для электроники и робототехники были созданы и продемонстрированы в России в 2018 году. В некоторых других странах это случилось раньше. Теперь новые корпуса и блоки создаются с помощью обозначенной природной технологии с помощью технологии 3D-печати SLM (Selective Laser Melting, или метода селективного лазерного плавления).

Особенности технологии SLM для корпусов РЭА

Металлический порошок полностью расплавляется, превращаясь в однородную металлическую массу.

В процессе 3D-печати гранулированный стальной порошок распределяется тонким слоем (от 20 до 100 мкм) на движущейся сверху вниз платформе (она опускается вниз по вертикали), при этом печать изделия производится с использованием переносного квантового генератора когерентного света (КГКС) с двойным лазерным лучом, расплавляющим порошок слой за слоем.

В нашей стране у истоков способа обработки лазером стоял «отец» квантовой электроники и лазерных технологий Н.Г. Басов (1922–2001). 14 декабря 2025 года коллеги и специалисты отметили 103 года со дня рождения учёного. Басов вместе с А.М. Прохоровым описал принцип усиления и генерации электромагнитного излучения квантовыми системами, что позволило в 1954 году создать первый квантовый генератор (мазер) на пучке молекул аммиака, затем трёхуровневую схему с инверсией, нашедшую широкое применение в мазерах и лазерах. На рис. 11 Н.Г. Басов (слева) и А.М. Прохоров.

Эти работы (а также исследования американского исследователя Ч. Таунса) в середине XX века легли в основу нового направления в физике – квантовой электроники. А теперь они вновь востребованы современниками. Изобретателем лазера в 1960 году признан американский физик Теодор Мейман, создавший свой прибор на основе идеи, высказанной ещё в 1917 году Альбертом Эйнштейном.

Процедура обработки лазером происходит в закрытой камере с вентиляцией для удаления инертных газов. Процесс полностью компьютеризирован, управляется оператором из другого защищённого помещения с прозрачным стеклом для наблюдения.

По окончании 3D-печати модель остывает, очищается от лишнего порошка и передаётся на детальную постобработку, основной задачей которой является удаление структур поддержки наслоения.

Как и любая развивающаяся область, технология генеративного дизайна тесно связана с материаловедением и пока несовершенна.

Так, материалы для корпусов РЭА отличаются по назначению и даже размеру изделий. Особая характеристика – плотность и химический состав материала. Дюралевая сталь или тонкий металлопрофиль, из кото-



Рис. 14. Пластиковый корпус для РЭА, созданный с помощью генеративного дизайна

рого типично изготавливаются шкафы для РЭА и крепления модульного оборудования на DIN-рейки для конфигурации изделий с помощью сертифицированного 3D-принтера, к примеру V950ЧТ, отлично подходят для современных дизайнерских решений. Другой перспективный материал – сплав алюминия, магния и скандия, коррозионноустойчивый материал Scalmalloy, который по прочности не уступает титану. Он разработан специально для аддитивного производства и сочетает в себе высокую прочность и пластичность, что делает его идеальным для проектирования корпусов РЭА, использования в космических разработках и ВПК.

3D-принтер по металлу HBD-400 с камерой построения 350×400×400 мм и лазерной системой из 8 лазеров мощностью 500 Вт каждый обеспечивает задачи высокоэффективного серийного производства сложных изделий различного назначения (рис. 12). Благодаря технологии Guangchi II устройство печатает в 12,8 раз быстрее аналогичных систем с двумя лазерами. Пока это идеальное решение для массового производства расходных материалов и чистовой обработки металлоконструкций, созданных из «порошка» с помощью 3D-принтера.

3D-принтер по металлу модели HBD 400 представляет собой герметичную конструкцию с автоматизированным контролем содержания кислорода и рециркуляционной системой очистки. Устройство имеет лазерную систему – до 8 генераторов регулируемой мощностью до 1000 Вт. При этом толщина слоя (стенки) корпуса (готового изделия) составит до 120 мкм. При ширине сканирующей дорожки до 200 мкм типичная точность обеспечена на уровне 0,05–0,2 мм. В качестве



Рис. 15. Моделирование элементов конструкций шкафов с помощью ПО, «оптимизирующего» напряжённо-деформированное состояние решётчатых структур

расходных материалов используют титановые сплавы, алюминиевые сплавы, суперсплавы, нержавеющая сталь, инструментальная сталь.

Если рассматривать материалы с большей удельной плотностью, к примеру, титановые заготовки марки BT22, требуется другое производственное оборудование.

Производство корпусов для РЭА из ABS CF пластика и ABS + PETG пластика FDM-способом давно отлажено, в стране работают цеха с относительно большой производительностью. На рис. 13 представлен принтер для «печати» корпусов FDM-способом из лёгких композитных материалов. На рис. 14 показан корпус для РЭА, изготовленный FDM-способом. Сегодня встаёт вопрос о производстве корпусов для моделей РЭА с внутренним водяным охлаждением. В этом направлении работа ещё предстоит.

Программное и сопутствующее обеспечение для бионического проектирования

Autodesk Within – специально адаптированный для 3D-печати программный комплекс для проектирования объектов с оптимизированным для облегчения веса дизайном, создания решётчатых структур, расчёта прочности. Ещё один инструмент для дизайнера корпусов РЭА – Altair OptiStruct – компьютерная технология программного комплекса Altair HyperWorks топологической оптимизации проектов и разработки сложных ячеистых и решётчатых структур для 3D-печати. OptiStruct позволяет проводить анализ напряжённо-деформированного состояния решётчатых структур, анализ на растяжение-сжатие, сдвиг, изгиб, круче-

ние, оценивать усталостные характеристики. Разработчик корпусов РЭА может определить наилучшее распределение материала и самые эффективные зоны для построения решётчатых и ячеистых структур, в том числе для уменьшения общего веса конструкции без потери её устойчивости к внешним воздействиям, а также конфигурировать мельчайшие детали корпуса: задвижки, защёлки, места оптимальной вентиляции и зоны охлаждения. Такое ПО в результате анализа разных возможностей подсказывает, где в конструкции нужен плотный материал, где ячеистый, а где можно обойтись без дополнительного усиления элементов корпуса.

На рис. 15 показано моделирование элементов конструкций шкафов с помощью ПО, оптимизирующего напряжённо-деформированные состояния решётчатых структур. На рис. 16 показана защёлка для шкафа РЭА как пример использования ПО в авторской разработке элементов релейных шкафов.

Проблемные вопросы

При дизайнерской разработке модели учитывают усталостную прочность материала и другие факторы. Из условных минусов развития технологии можно выделить проблему остаточного напряжения металла, большого количества поверхностных и объёмных дефектов. Время изготовления конструкции под ключ с полной шлифовкой и покраской, стоимость материалов также следует учитывать в производственном процессе.

Пока в России массовое развитие технологии 3D-печати корпусов для РЭА из металла тормозится большой ценой производственного процесса. К примеру, заготовка из металла условной кубической формы размерами 150 см³

обходится почти в 450 тыс. рублей. При применении композитного пластика – в 5 раз дешевле. Однако с каждым годом усовершенствования технологии растёт профессионализм дизайнеров и конструкторов, открываются новые возможности для использования разных материалов, совершенствуются 3D-принтеры и в итоге падает себестоимость готовых изделий.

Особенное значение в развитии новой генеративной технологии имеет искусственный интеллект и связанные с ним решения. Нюансы развития бионического дизайна в том, что в 2026 г. активно применяются облачные технологии; каждый разработчик принимает решения не столько в офисе, сколько в «облаке», при этом соблюдается режим усиленной безопасности в едином корпоративном сетевом пространстве.

Так наступает новая эра для дизайнеров корпусов РЭА и появляется новая специализация, смежная с разработкой РЭА.

Особенности новой профессии

По опросам специалистов разных отраслей ещё 5–6 лет назад было понятно их беспокойство о потере работы и доходов из-за внедрения компьютерных технологий и, в частности, качественной 3D-печати для твёрдых и устойчивых, а также антивандальных и взрывобезопасных конструкций. Один из оригинальных (кроме шаблонных и негодующих) ответов звучал так. Изменим классификацию инженеров, монтажников, сталеваров, токарей, сварщиков, переводя их на творческие профессии. Инженеры будут плести корзинки из лозы, сталевары – вязать варежки, а на токарных станках будут вытачивать матрёшки. Жестянки и маляры тоже потеряют в востребованности. Шутки шутками, а сегодня уже не спорят, что роботизированная техника с помощью 3D-технологии зачастую создаёт изделия качественнее и быстрее, хотя и применяется это пока в узкой области, где важен каждый грамм веса, в основном в аэрокосмических разработках РЭА.

Сегодня в России более 10 вузов готовят специалистов нового профиля, способных разрабатывать корпуса для РЭА с учётом дизайнерских компетенций с опорой на бионику. Новые специалисты работают в области ком-

пьютерного моделирования для создания корпусов, панелей, ручек управления, стационарных (неподвижных) конструкций – шкафов и электрощитов, шкафов для серверных и сопутствующего оборудования. Особенность новой и развивающейся профессии в том, что инструментарий для проектирования пока более понятен программистам, чем художникам. Но ни те, ни другие практически не используют 3D-принтер для «печати металлом» по технологии SLM. Поэтому с развитием перспективной технологии образовалась новая смежная специальность, раскрывающая всю мощь генеративного дизайна. В области создания нешаблонных моделей корпусов с разными гранями и «переходами» на 3D-установках печатают детали, которые физически невозможно сделать другим способом.

Выводы

Перспективы использования бионического дизайна в России будут наиболее заметны в ближайшие годы. Оптимизация кронштейнов, шасси, корпусов для снижения веса и экономии топлива уже применяется при создании БПЛА и в аэрокосмической отрасли. В дальнейшем полученный опыт внедрения генеративного проектирования распространяется на другие конструктивные элементы, снижая их общий вес.

Поэтому разговор о преимуществах использования отечественными разработчиками РЭА бионического дизайна своевременный, а сами возможности уместно рассматривать с нескольких сторон.

Значительное снижение веса при сохранении или увеличении прочности даёт эффективность и лёгкость конечному изделию. При работе с дорогостоящими и драгоценными металлами достигается экономия материалов и средств на их закупку. Создание самовосстанавливающихся или супергидрофобных поверхностей по аналогии с природными открывает новые возможности для инновационных материалов и их композиций. Реализация уникальных форм и функций, ранее недоступных, раскрывает новые конкурентные возможности для каждого производителя. Уменьшение отходов и потребления ресурсов – ещё одна польза применения рассмотренных SLM-технологий – перспективное решение для создания



Рис. 16. Защёлка для шкафа РЭА как пример использования ПО в авторской разработке элементов релейных шкафов

сложных корпусов РЭА с каналами конформного охлаждения. По сравнению с традиционными методами изготовления форм аддитивная технология обеспечивает значительные преимущества.

Литература

1. Бионика – 60 лет. Итоги и перспективы. Сборник статей Первой Международной научно-практической конференции, 17–19 декабря 2021 года, г. Москва / под ред. А.П. Карпенко. М.: Ассоциация технических университетов, 2022. 258 с. URL: https://www.researchgate.net/profile/Yury-Ryabov-3/publication/384761323_Bioniceskij_dizajn/links/6706699356f2ab4a34187b10/Bioniceskij-dizajn.pdf.
2. Бионический (генеративный) дизайн. URL: <https://www.drive2.ru/b/52334032298233171/>.
3. Бионический дизайн и SLM-печать в оптимизации станочной оснастки. URL: <https://blog.iqb.ru/hbd-milling-cutter-head/>.
4. Видеодемонстрация программирования элементов конструкции корпуса. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=NWwc3Q4dgc0&t=11s>.
5. Институт дизайна РГУ имени А.Н. Косыгина, примеры разработок. URL: <http://kosygin-design.ru/bionic>.
6. Autodesk Inventor-Shape Generator Tutorial. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=pwH2rc4fwP8>.
7. 3D-прорыв в Питере: итоги «Металл-Экспо» и «Машфорума». URL: <https://blog.iqb.ru/metal-expo-mashforum-2025/>.

