

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА
В РЕШЕНИИ АКТУАЛЬНЫХ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

В. Д. Кошман, С. В. Гиль

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, Беларусь, vika.koshman.00@mail.ru

Аннотация

В статье представлен анализ современных взаимосвязанных технологий: аддитивного производства и нового направления компьютерного проектирования – генеративного дизайна. Раскрыты их отличительные особенности, проблемные вопросы, а также дана оценка перспективы использования в решении прикладных научно-технических задач.

Ключевые слова: аддитивные технологии производства, метод генеративного дизайна, топологическая оптимизация, компьютерное моделирование и проектирование.

**UP-TO-DATE DESIGN AND PRODUCTION TECHNOLOGIES HELP
SETTLE SCIENTIFIC AND TECHNICAL ISSUES**

V. D. Koshman, S. V. Gil

Abstract

The article presents an analysis of up-to-date interrelated technologies in the generative design, additive manufacturing, and computer design. The article highlights their distinctive features, problematic issues, and casts an assessment of the prospects for their usage in solving applied science and technical problems.

Keywords: additive manufacturing, generative design method, topological optimization, computer modeling and design.

Введение. В настоящее время, когда технологии стремительно меняют не только область традиционного промышленного производства, но и повседневную жизнь человека, одной из первостепенных задач для предприятий и организаций становится выпуск более качественной, надёжной, конкурентоспособной и экологичной продукции. Развитие и внедрение аддитивных технологий будет способствовать непосредственно практической реализации этой задачи, так как на сегодняшний день этот процесс является основным трендом в главных производственных сферах: аэрокосмической, автомобильной, железнодорожной, строительной, а также науке, образовании, медицине и др. Сущность его основана на послойном создании изделия на 3D-принтере по воспроизведённой средствами CAD-систем 3D-модели без непосредственной разработки её чертежей из аморфного расходного современного материала: керамики, инженерных пластиков, композитных порошков, различных типов металлов, которые оказывают минимальное воздействие на окружающую среду. В отличие от традиционного производства, где потери материала при обработке изделия могут составлять до 80 %, аддитивные технологии позволяют существенно экономить расходный материал и энергоресурсы, использовать только тот объём, который непосредственно необходим для создания изделия [1, 2]. При этом достигается не только снижение временных затрат на изготовление нового образца объекта, но и при внедрении современных методов компьютерного проектирования и возможностей CAD-систем за счёт оптимизации формообразования может существенно снижаться масса при сохранении прежних функциональных и прочностных характеристик оригинала.

Исследование тенденций развития аддитивных технологий показало растущий интерес специалистов из разных стран и областей к генеративному дизайну, который непосредственно связан с аддитивным производством, позволяет выполнять компьютерное проектирование изделия, обладающего конфигурацией ранее невозможной в воспроизведении, или требующей больших временных и/или материальных затрат. При этом в исследованиях на данном этапе отмечается высокая стоимость аддитивных технологий производства, как превалирующего для практической реализации такого рода изделий, относительно традиционных методов изготовления. В ряде областей этот недостаток, тем не менее, сглаживается, например, в медицине при производстве имплантов экономится дорогостоящий материал, а его структура снижает вероятность отторжения организмом. В машиностроении снижение веса автомобиля на 10% приводит к экономии топлива на 3 % [3]. Также изделия с меньшим весом, приводимые в движение двигателями и приводами,

будут работать быстрее, что приведет к сокращению времени цикла и увеличению дополнительной производительности, что напрямую влияет на экономию при эксплуатации. Так легковые автомобили будут быстрее разгоняться и лучше маневрировать, пробег и грузоподъемность увеличатся, а износ снизится, лопасти ветряных турбин при снижении веса на 20-30 % позволят сгенерировать энергии почти в 3 раза больше [4].

Генеративный дизайн – одно из самых перспективных и инновационных направлений в компьютерном проектировании в настоящее время. В странах ближнего и дальнего зарубежья выделены производственные сферы и области, где постепенно внедряется эта технология, и демонстрирует отличные результаты использования. В Республике Беларусь конструктивных предложений производственной реализации генеративного дизайна не существует. Тем не менее, данное направление в компьютерном проектировании во взаимосвязи с современными аддитивными технологиями могут способствовать развитию различных производственных отраслей в стране, сокращению издержек производства и импортозамещению достаточно широкого диапазона продукции на белорусском рынке при существенном повышении её уровня качества, надёжности и экологичности.

Генеративный дизайн (англ. Generative Design; син. «порождающий дизайн») в широком смысле – подход к проектированию и дизайну цифрового или физического продукта (сайт, изображение, мелодия, архитектурная модель, деталь, анимация и т.д.), при котором человек делегирует часть процессов компьютерным технологиям и платформам», – раскрывает термин В.Н. Княгинин в книге «Промышленный дизайн Российской Федерации: возможность преодоления дизайн барьера» [5]. В генеративном дизайне инженер, дизайнер или другой специалист непосредственно не ищет решения, а описывает параметры задачи и её ограничения программе, после чего система генерирует варианты решения. В отличие от традиционных инструментов дизайна и проектирования, генеративные системы полуавтономно создают и первично отбирают варианты решений, что изменяет характер взаимодействия человека с системой: программа воспринимается не как инструмент, а как полноценный участник процесса создания чего-то нового и уникального. Некоторые системы генеративного дизайна позволяют пользователю уточнить, скорректировать или переформулировать задачу по промежуточным результатам, а также самообучаются и совершенствуются в процессе поиска решений, как это делают нейросети в процессе своей работы. Направление «генеративный дизайн», в основном, подразумевает способы «кодирования» процессов, а их обработка и оценка проводится системой (компьютером). Специалист задает параметры, прорабатывает алгоритмы, которые можно использовать, чтобы варьировать процесс и то, как он вычисляется. При изменении этих параметров можно создавать новые элементы и формы, которые создаются во время процесса, но сам процесс генера-

ции проходит по типу «чёрного ящика» и пользователь не может в него вмешиваться напрямую. Некоторым специалистам может показаться, что генеративный дизайн аналогичен с топологической оптимизацией объектов, что является правдой, но эти два направления имеют как подобия, так и отличия. Генеративный дизайн использует топологическую оптимизацию, но не каждый проект, созданный с учетом оптимизации топологии, является примером генеративного дизайна. Цель топологической оптимизации – определение оптимального распределения материала в области проектирования при заданных нагрузках с удовлетворением критериев оптимизации [6]. Говоря иначе, определение лучшего использования материала для оптимизируемого объекта или конструкции, так, чтобы целевая функция параметра распределения материала имела минимальное значение при наличии соответствующих ограничений. Топологическая оптимизация предлагает всего один вариант оптимизации модели, а генеративный дизайн предлагает многовариантность. Кроме того, топологическая оптимизация требует наличия готовой 3D-модели, в то время как при использовании генеративного дизайна, программа создает изначальный прототип по ограничениям, заданным пользователем. Некоторые варианты новых форм и решений, полученных с помощью генеративного дизайна, представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Практические примеры генеративного дизайна в разных производственных сферах и областях

При этом необходимо выделить важную проблему, которая оказывает непосредственное влияние на масштаб применения технологии генеративного дизайна в различных научно-технических областях. Это недостаток подготовленных квалифицированных специалистов данного профиля на рынке труда. Генеративный подход к проектированию далеко не новый, но вот инструменты и внедрение инновационных технологий, качественно реализующие его, появились относительно недавно. Специалист в сфере генеративного дизайна должен

свободно владеть знаниями из нескольких смежных областей, уметь быстро и качественно осваивать новые направления, уметь структурировать и анализировать информацию, получаемую от программ. Инженеры и/или конструкторы, не имеющие опыта в представлении проблемы в виде набора параметров, могут столкнуться с нечетко определенными конструктивными ограничениями или нагрузками, что в конечном итоге приведет к неточностям модели или объекта. Данную проблему поможет решить широкое освещение современных технологий и привлечение молодых специалистов по средствам материальной и/или нематериальной мотивации. В качестве вариантов подобного просвещения и развития могут выступать конкурсы лучших дизайнерских решений и проектов, курсы по освоению данной технологии, а также введение дополнительного времени на изучение генеративного дизайна в учебный процесс высших технических учреждений образования. Генеративный дизайн даёт возможность для новых идей, выбора оптимальных решений. Благодаря облачным технологиям и нейросетям профессии инженера, конструктора, дизайнера интегрируются друг в друга: инженеры становятся более креативными, а конструкторы получают новые возможности и идеи. Значимым преимуществом этой технологии является возможность объединения нескольких узлов деталей или целых конструкций, при этом сохраняются их основные функции, а также осуществляется модернизация и совершенствование исходной формы объектов и деталей. С помощью процессов аддитивного производства эти детали со сложной геометрией могут быть изготовлены с легкостью.

Рассмотрим практическое применение технологии генеративного дизайна и взаимосвязанной с ним аддитивной технологии производства на примере решения конкретной практико-ориентированной задачи: оптимизации формообразования элементов типовых конструкций.

Материалы и методы. Предлагаемый алгоритм применения генеративного дизайна состоит из следующих этапов:

- Определение класса объектов, для которых рекомендовано применение генеративного дизайна (наиболее подходящие для использования генеративного дизайна в выбранном инженерном направлении: соединительные группы, опорные и корпусные детали).

- Подбор материалов (подходят изотропные материалы, т.к. они наиболее распространены при аддитивных технологиях производства).

- Первичная постановка задачи (определения входных параметров системы: приложение сил, распределение нагрузки, выбор статичных областей и т.д.).

- Расчёт (проводится САД-системой по системе «чёрного ящика», т.е. пользователь не может непосредственно вмешиваться в этот процесс).

- Промежуточные уточнения задачи (при необходимости).

- Верификация (проверка прочностных характеристик, уточнение формы).

Для практического воплощения проводимого научного исследования выбирается определенная область деятельности и сфера применения. Если исходить из экономической целесообразности производства улучшенной детали и опыта реализации таких деталей у зарубежных исследователей, можно

определить, что наиболее актуальными областями для применения генеративного компьютерного дизайна в инженерии будут: автомобильная, железнодорожная, авиационная, аэрокосмическая отрасли, так как для этих выделенных направлений вопрос сохранения прочности при уменьшении массы стоит особенно остро. Далее, сужая область исследования, определяются элементы типовых узлов или конструкций, для которых наиболее актуально использование оптимизации формы. Чаще всего это силовые элементы с преимущественно статическими нагрузками, такие как кронштейны, рамы, рычаги, корпуса, крепления и т.д.

В представленной работе была выбрана задача совершенствования формы узла навески элерона самолёта. Элерон - подвижная концевая часть крыла, используемая для аэродинамического управления креном летательного аппарата. На рисунке 2 приведена схема и фото крыла самолёта.

Элерон подвешивается между нервюрами на нескольких кронштейнах, которые установлены на заднем лонжероне крыла. Крепление элеронов к крылу производится при помощи узлов навески. В узел навески входит кронштейн, закрепленный на крыле, кронштейн на элероне и шарнирный болт.

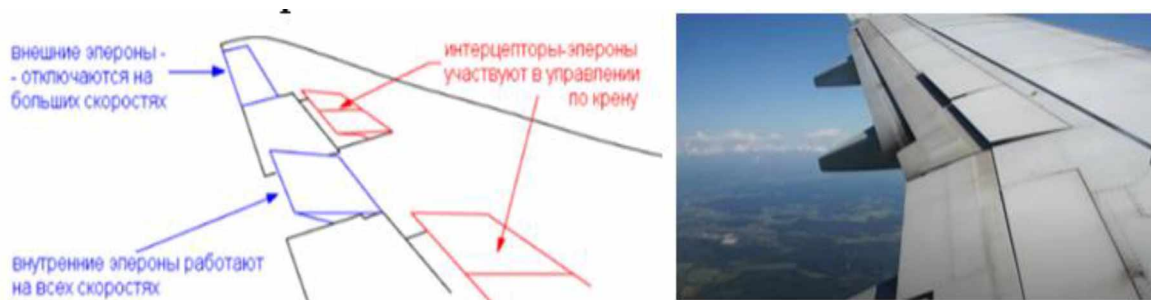


Рисунок 2 – Составные части крыла самолёта

Более подробная схема крепления элерона к крылу самолёта показана на рисунке 3.

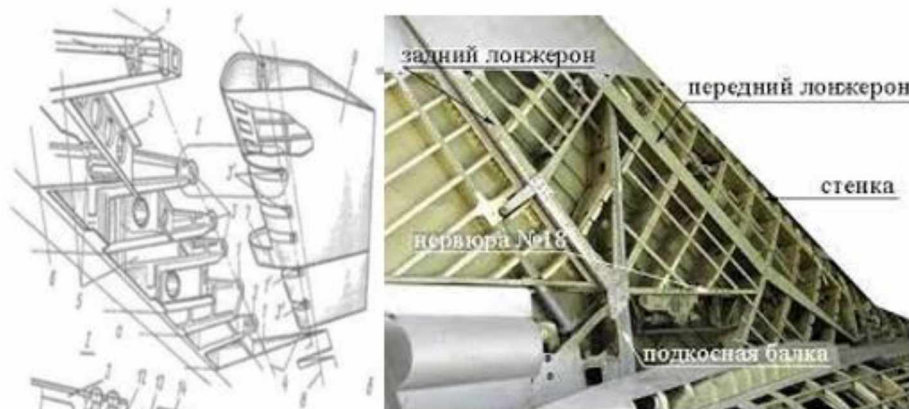


Рисунок 3 – Схема конструкции навески элеронов

Три близко расположенных кронштейна 3 на крыле и три средних узла навески 3' на элероне имеют только одну степень свободы и фиксируют положение элерона относительно крыла. Кронштейны производятся или из сплава алюминия на основе кремния, или из титана. Они наиболее подходящие

и распространённые в авиационной промышленности, их характеристики точно удовлетворяют поставленной задаче. Оба материала являются изотропными и применяются при аддитивном производстве деталей различными компаниями, например, Sprint 3D и другими.

После определения детали и материала, в соответствии с предлагаемым выше алгоритмом исследования, следует первичная постановка задачи, для этого необходимы: модель исходной детали, окружающая геометрия, приложение сил (распределение нагрузки), статичные области и другое.

Несмотря на то, что для генеративного дизайна необязательно наличие готовой модели изделия, конкретную форму с нюансами работы сразу могут себе представить только опытные инженеры, поэтому для упрощения восприятия было проведено первичное твердотельное моделирование изделия. Автоматизированный адаптивный 2D-чертёж кронштейна навески элеронов и его 3D-модель, выполненные средствами Autodesk Inventor [7], а также схема приложения сил представлены соответственно на рисунке 4.

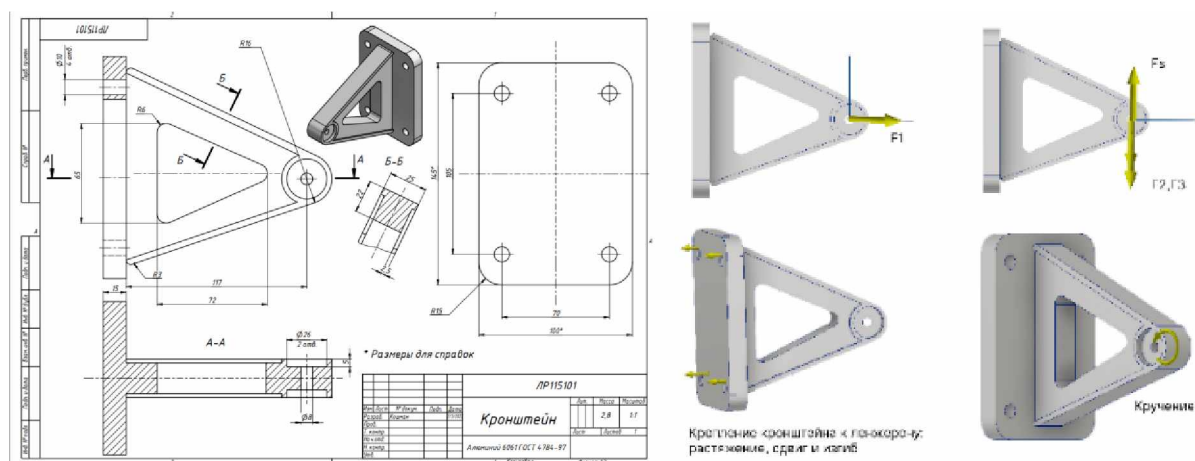


Рисунок 4 – Чертёж кронштейна, его 3D-модель и схема распределения сил кронштейна навески элеронов

Результаты и обсуждение. Для получения вариативности форм был использован итеративный метод. Несколько вариантов возможных форм кронштейна представлен на рисунке 5.

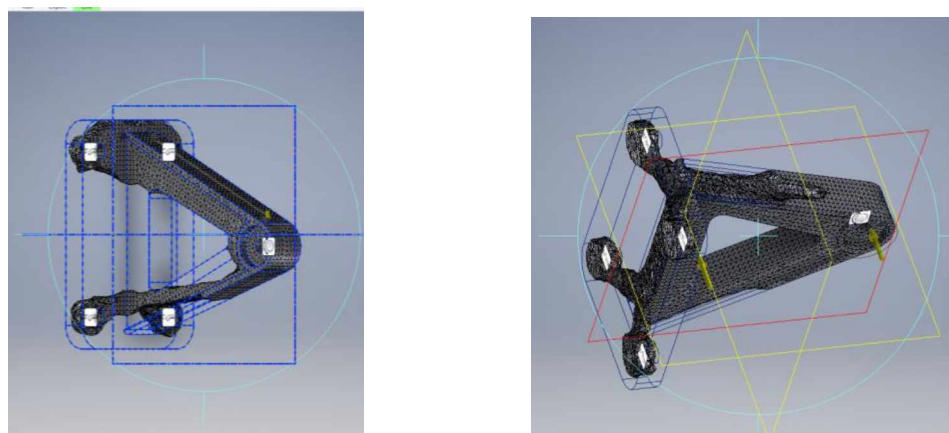


Рисунок 5 – Варианты оптимизированной формы кронштейна

На рисунке 6 приведен вариант оптимизированной формы кронштейна после применения генеративного дизайна в CAD-системе Autodesk Inventor [7]. Форма кронштейна частично скорректирована вручную, для более плавных форм элементов.



Рисунок 6 – Оптимизированная форма кронштейна

Таким образом, оптимизирована форма детали на основе генеративного дизайна. Она имеет вес на 35 % меньше оригинала, без потери прочностных характеристик. На данном примере доказана практическая эффективность разработанного алгоритма применения технологии генеративного дизайна.

Заключение. Снижая временной интервал между идеей и воплощением, инновационные технологии компьютерного проектирования ускоряют появление новых форм, функций и эстетики, что в свою очередь непосредственно влияет на качество, надёжность и экологичность конечного продукта. Согласно прогнозу исследовательской компании Market Data Forecast [8], мировой рынок генеративного дизайна к 2025 году увеличится до \$315 млн, это значит, что ежегодный рост составит около 20%, что соответственно может дать хороший прогноз занятости для квалифицированных специалистов данного направления в перспективных сферах жизнедеятельности человека: производстве, науке, образовании, медицине, строительстве и т.д. Таким образом, современные технологии компьютерного проектирования совместно с возможностями аддитивного производства будут способствовать решению актуальных прикладных научно-технических задач, практическое выполнение которых традиционными методами и способами представляло до настоящего времени серьёзные проблемы.

Список цитированных источников

1. Электронный ресурс Аддитивные технологии и аддитивное производство – Режим доступа: https://3d.globatek.ru/world3d/additive_tech/
2. Чижев, М. И. Влияние аддитивных технологий на экологию / М. И. Чижев, А. В. Лутовин // Современные проблемы экологии: доклады XXVI всерос. науч.-практич. конференции под общ. ред. В. М. Панарина. – Тула : Инновационные технологии, 2021. – 161 с. (С. 122–124)

3. Электронный ресурс How to Build a Car that Gets 54.5 MPG. – URL: - Режим доступа: <https://www.forbes.com/pictures/ehmk45lii/weight-reduction/>
4. Электронный ресурс Wind turbine blades: Glass vs. carbon fiber. – URL: Режим доступа: <https://www.compositesworld.com/articles/wind-turbine-blades-glass-vs-carbon-fiber/>
5. Промышленный дизайн Российской Федерации: возможность преодоления «дизайн-барьера»: учеб. пособие / под ред. М. С. Липецкой, С. А. Шмелевой – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 80 с.
6. Сысоева, В. В. Алгоритмы оптимизации топологии силовых конструкций / В. В. Сысоева, В. В. Чедрик // Учёные записки ЦАГИ. – 2011. – Т. 42. – № 2. – С. 91–102.
7. Зиновьев, Д. В. Основы проектирования в Autodesk Inventor 2016. Изд. 2-е / под ред. Азанова М. – М. : ДМК Пресс, 2017. – 256 с.
8. Generative Design Market Research Report : сайт. – USA, 2022. – URL: <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/generative-design-market/>