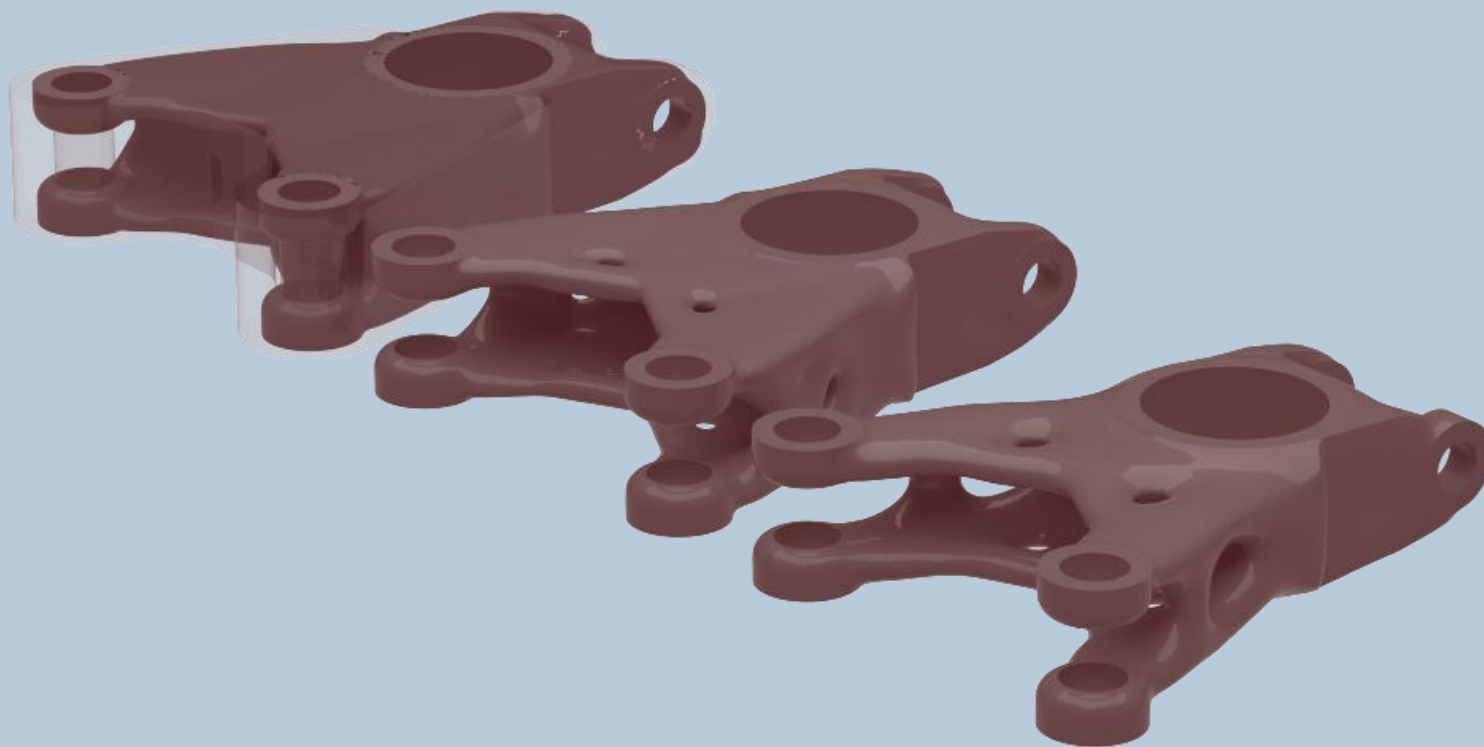


ГЕНЕРАТИВНЫЙ ДИЗАЙН И МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАСЕТОВ КАК ПРЕИМУЩЕСТВА ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ



LIFECYCLE

INSIGHTS

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование современных изделий — трудная задача. Появляется все больше технологий, и сложность изделий возрастает. Необходимость в совместной работе растет по мере того, как в процесс разработки вовлекается все больше поставщиков. В погоне за быстрым выводом изделий на рынок производители сжимают графики выполнения проектов. Инженеры, перед которыми ставится множество задач, едва успевают создавать технологичные варианты конструкции — о лучших говорить даже не приходится.

В такой ситуации инженеры часто нуждаются в новых возможностях. К счастью, появилась технология генеративного дизайна. Она работает так: инженер задает ограничения, а программное обеспечение автономно создает альтернативные варианты конструкции с использованием таких алгоритмов, как оптимизация топологии, а также ряда других, созданных по аналогии с процессами, которые наблюдаются в живой природе. При генеративном дизайне программное обеспечение выступает в роли сотрудника, который показывает различные варианты инженеру. В результате инженеры могут рассмотреть больше альтернатив, чем раньше. Эту технологию можно применять как при концептуальном, там и при подробном проектировании.

Однако, чтобы использовать результаты генеративного дизайна, нужно применять специализированные возможности работы с геометрией — моделирование фасетов. В CAD-системах эта технология стала появляться только недавно. Раньше они включали только традиционные параметрическое и прямое моделирование. Это важнейший, но часто упускаемый из виду набор инструментов, который нужно использовать вместе с другими.

Цель данной электронной книги — более подробно изучить все эти вопросы. В начале рассказывается о трудностях, с которыми сталкиваются современные инженеры, и о том, как они влияют на качество конструкций. Далее рассматривается технология генеративного дизайна: как именно она используется, какие технические особенности нужно учесть и как ее применять при концептуальном и подробном проектировании. В конце рассказывается об использовании двух отдельных решений и единой системы. Книга содержит отсылки к исследованию Lifecycle Insights.

Безусловно, проектирование современных изделий — сложная задача. Однако современные технологии, такие как генеративный дизайн, открывают новые возможности без существенных дополнительных трудозатрат. Они одинаково полезны как для инженеров, так и для всего предприятия.

СЛОЖНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КАЧЕСТВО ИЗДЕЛИЙ

Проектирование любой конструкции подразумевает поиск баланса. С одной стороны, разработка часто ограничивается графиком, бюджетом, целевыми показателями по материальным затратам и функциональными требованиями. С другой, чтобы создать инновационные и конкурентоспособные изделия, нужно не только достигать функциональных требований, но и превосходить их. В последние годы некоторые тенденции нарушили этот баланс, заставляя выбирать более консервативные варианты конструкции. Это мешает компаниям создавать инновационные изделия.

РАБОТА ИНЖЕНЕРА НЕСЕТ В СЕБЕ РИСКИ

Один из факторов, который заставляет инженеров быть более консервативными, — это высокая степень риска при разработке принципиально новой конструкции. Ошибки проектирования, пропущенные в ходе утверждения, могут привести к плачевным последствиям для всех, но особенно для инженеров. Запросы на изменения, которые к ним возвращаются, вносят хаос в работу. Отходы, необходимость в доработке, провалившие испытания прототипы — это лишь часть проблем. Кроме того, ошибки проектирования отнимают время, энергию и ресурсы, а также отвлекают от текущей работы. В результате другие проекты откладываются. 60% респондентов исследования [о проектировании на основе численного моделирования](#) признались, что уже нарушали сроки выполнения проекта из-за не прошедших испытания прототипов.

РАСТУЩАЯ СЛОЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЙ

Еще один фактор, который заставляет делать выбор в пользу консервативных решений — это растущая сложность технологий, используемых в современных изделиях. Новые тенденции в электронике, включая постоянное уменьшение размеров, стремление к снижению энергопотребления и необходимость в более эффективном рассеивании тепла, затрудняют удовлетворение постоянно растущего спроса на рост вычислительной мощности в изделиях. Использование программного обеспечения в изделиях приводит к трудностям интеграции, так как приложения должны хорошо работать с электронными аппаратными средствами и другими системами. С появлением интернета вещей разработка усложнилась еще больше, так как теперь производители должны думать о том, как оснастить изделия нужными датчиками, как собрать правильные данные, направить их в нужное хранилище, а затем использовать их. В сочетании с механической частью конструкции это порождает сложности интеграции систем.



СОТРУДНИЧЕСТВО С БОЛЬШИМ КОЛИЧЕСТВОМ СПЕЦИАЛИСТОВ

Еще одним фактором, который следует учитывать, является необходимость в том, чтобы инженеры сотрудничали с большим количеством специалистов в других областях. Чтобы успешно конкурировать на рынке, производители должны внедрять новые технологии, или их обойдут конкуренты. В результате инженеры все чаще обращаются к экспертам из узкоспециализированных областей. Создать конструкцию, которая бы соответствовала требованиям к форме и функционалу, мало. Инженеры должны учитывать больше факторов. Современные инженеры сталкиваются с эксплуатационными и коммерческими ограничениями, которые влияют на выбор конечного варианта конструкции. В связи с этим им требуется обратная связь от все большего количества коллег, в том числе от специалистов по закупкам, поставщиков, производителей, заказчиков, поставщиков услуг и многих других.

БАЛАНС МЕЖДУ МНОГОЧИСЛЕННЫМИ ОБЯЗАННОСТЯМИ

Ситуацию усугубляет то, что инженеры уже работают на пределе возможностей. Организаторы исследования Lifecycle Insights [об инженерах по проектированию аппаратного обеспечения](#) попытались дать количественную оценку этой проблемы. Респондентам предложили выбрать задачи, которые они уже выполняли, из списка основных и дополнительных обязанностей, содержащего 13 пунктов. В среднем инженеры выполняли 4,4 основных обязанностей по проектированию, которые включали в себя управление требованиями, прогнозирование характеристик изделия и многое другое. Кроме того, инженеры выполняли 2,9

дополнительных обязанностей по проектированию, которые включали такие задачи, как управление проектами, взаимодействие с поставщиками и многое другое. В общей сложности это составляет 7,3 обязанностей. Принятие решений — это лишь одна из этих обязанностей.

ВЫБОР ПЕРВОГО ТЕХНОЛОГИЧНОГО ВАРИАНТА КОНСТРУКЦИИ В УСЛОВИЯХ СЖАТЫХ СРОКОВ

Последний фактор, который необходимо учитывать, — это постоянно сокращающиеся сроки разработки. Сжатые сроки заставляют инженеров утверждать первые варианты конструкций, которые получаются технологичными. При худшем сценарии эти конструкции будут отвечать целям проекта лишь в минимальной степени. В результате компания утрачивает возможности для создания изделий с более низкой стоимостью и лучшими характеристиками, а также для полного выполнения требований заказчика.

ОСНОВНЫЕ ТЕЗИСЫ

В силу множества факторов у инженеров сегодня остается все меньше времени на проектирование сложных изделий. Ошибки проектирования имеют серьезные последствия, как для вашей компании, так и для самих инженеров. Неудивительно, что последние выбирают более консервативные варианты конструкции.



РОЛЬ ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ

Сегодняшние инженеры испытывают давление, которое заставляет их занимать консервативную позицию в проектировании. Чтобы противостоять этому, инженерам нужны новые технологии. Тем не менее, с каждым годом их просят делать все больше с меньшими затратами. Именно эту проблему решает генеративный дизайн.

ЧТО ТАКОЕ ГЕНЕРАТИВНЫЙ ДИЗАЙН?

Если не вдаваться в подробности, генеративный дизайн — это довольно простая технология. Она заключается в том, что САД-системы автономно генерируют альтернативные варианты конструкции, опираясь на заданные ограничения. Это можно сделать без участия инженеров, которые в это время могут заняться другими задачами. После завершения процесса, инженеры могут выбрать, какие конструкции они хотят изучить подробнее. Это ускоряет процесс проектирования, так как внимания инженера не требуется.

В основе генеративного дизайна лежат такие возможности, как оптимизация топологии, при которой выполняется структурный анализ и удаляется материал, не несущий нагрузку. Однако это только один из подходов, который используется при генеративном дизайне. С его помощью также можно воспроизводить модели поведения, наблюдаемые в живой природе, такие как рост колоний бактерий или эволюцию структуры костной ткани, для оптимизации соотношения веса и прочности. Такой подход используется при исследовании области поиска оптимального решения для нового изделия. Интересно, что генеративный дизайн помогает создавать варианты конструкции, о которых

инженеры даже не задумывались, и открывает совершенно новые возможности в проектировании.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Запустить генеративный дизайн довольно просто. Входными данными служит 2D или 3D-модель, создаваемая на стадии концептуального или подробного проектирования. Инженер указывает ограничения, в пределах которых может работать генеративный дизайн. Это могут быть граничные условия, такие как фиксированная геометрия, или геометрические ограничения, такие как сохранение определенной формы (например, цилиндрической формы в определенном месте). Учитывая, что в генеративном дизайне чаще всего используются возможности оптимизация топологии, которая опирается на анализ методом конечных элементов (FEA), нужно задать другие элементы симуляции, такие как свойства материалов и нагрузки.

В ходе генеративного дизайна и удаления материала, программное обеспечение фактически убирает некоторые элементы, которые имеют низкие уровни напряжения или деформации. С точки зрения моделирования, результатом этого процесса является геометрия сетки, сформированная из тетраэдральных элементов. Так как модель полностью состоит из этих элементов, которые имеют плоские грани, внешние поверхности геометрии также состоят из плоских поверхностей. Это и есть геометрия сетки, изменить которую можно только с помощью моделирования фасетов, но не параметрического или прямого моделирования.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В КОНЦЕПТУАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

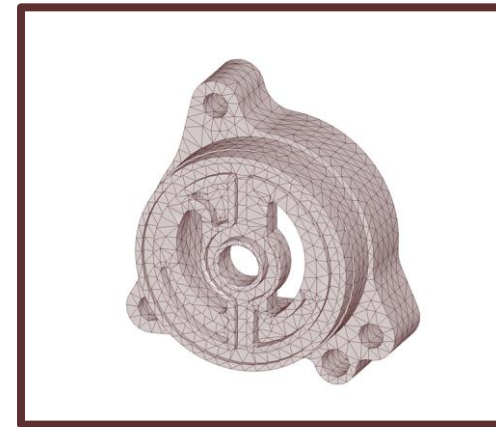
При концептуальном проектировании инженеры рассматривают некоторое количество идей, которые потенциально могут соответствовать требованиям по форме и функциональным требованиям. Первоначально они ищут варианты конструкции, которые точно отвечают требованиям. Как только обнаруживается технологичный вариант, многие инженеры сразу переходят к следующему этапу проектирования, ведь они должны соблюдать постоянно сжимающиеся сроки разработки. Проблема такого подхода состоит в том, что так инженеры упускают из вида другие варианты конструкции, которые вполне могут больше соответствовать требованиям. Чтобы не останавливаться на первом подходящем варианте, требуется больше усилий, экспериментов и итераций.

Цифровые геометрические представления этих вариантов конструкций могут быть разными. Некоторые используют технику проектирования «сверху вниз», чтобы сохранить место для конкретных компонентов. Другие добавляют 2D- или 3D-эскизы, разработанные на основе кривых, линий, поверхностей и другой простой геометрии. Однако на этом этапе представления обычно еще не являются полноценной, детализированной 3D-моделью. 3D-модели создаются на этапе подробного проектирования.

С точки зрения разработки, генеративный дизайн успешно применяется при концептуальном проектировании. На данном этапе инженеры могут без рисков изучить альтернативные варианты конструкции. Они могут задать несколько ограничений, а затем с помощью генеративного проектирования создать большое количество вариантов конструкции, не прилагая больших усилий. Фактически,

инженеры проверяют результаты работы программного обеспечения для генеративного дизайна. Они даже изучают компромиссные решения, сравнивая характеристики разных вариантов. Это помогает глубже понять взаимосвязи между основными переменными и желаемыми характеристиками. Примечательно, что эту технику можно применять при работе с 2D эскизами, абстрактными 3D-моделями или подробными конструкциями.

Самое главное — это то, что конечным результатом генеративного дизайна будет геометрия сетки. Некоторые итерации с эскизной конструкцией направлены на оценку ее технологичности. В таком случае полезно использовать моделирование фасетов для прямой работы с геометрией сетки: инженерам не нужно будет преобразовывать ее в геометрию граничного представления, которая нужна при параметрическом и прямом моделировании. Учитывая, что полученная в результате концепция должна служить отправной точкой для остальных этапов разработки, важно иметь возможность преобразовать фасетное представление в геометрию граничного представления. Возможности моделирования фасетов можно применить и в такой ситуации, так как они облегчают преобразование.



ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА ПРИ ПОДРОБНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

На этом этапе разработки инженеры добавляют детали в выбранный вариант конструкции, одновременно проверяя его на соответствие требованиям по форме и функционалу. Чтобы улучшить характеристики, они изучают альтернативные опции для различных аспектов проектирования. Это особенно справедливо в отношении инженеров, которые ищут баланс между такими конфликтующими требованиями, как вес и структурная нагрузка, стоимость и собственные частоты.

Цифровым геометрическим представлением конструкции на данном этапе служит подробная 3D-модель. Эти модели часто создаются с помощью параметрического и прямого моделирования, которое дает скругленную геометрию.

Возможность пойти дальше первой технологичной конструкции очень полезна. Большое количество экспериментов с подробной геометрией и различными конфигурациями по размерным параметрам может улучшить характеристики изделия, а также благотворно повлиять на его стоимость и технологичность. Как и в случае с концептуальным проектированием, чем больше времени вы потратите на эксперименты с этими переменными и отслеживание выполнения требований, тем больше информации об их взаимосвязях вы получите. Такой подход позволяет инженерам дорабатывать подробные конструкции так, чтобы они больше соответствовали требованиям.

С точки зрения разработки, генеративный дизайн можно применять при подробном проектировании. Инженеры могут широко использовать эту технологию для оценки альтернативных подходов к созданию деталей конструкции. На самом деле, с помощью генеративного дизайна можно

получить варианты конструкции, о которых инженер, возможно, никогда не задумывался. Он может стать бесценным инструментом для доработки конструкции и поиска баланса между конфликтующими требованиями.

Объединять результаты генеративного дизайна с подробными моделями обязательно. В конечном счете, инженеры должны передать эти подробные проекты в отдел закупки или производства для покупки или производства компонентов. На этом этапе моделирование фасетов может значительно повлиять на производительность и сгладить переход от геометрии сетки к геометрии граничного представления.

Несмотря на то, что иногда требуется преобразовать геометрию сетки в модели граничного представления, это необходимо далеко не во всех случаях. Инженерам, возможно, придется внести некоторые изменения в геометрию сетки, но в целом они оставят ее в том же виде. Это особенно актуально для организаций, которые производят компоненты с использованием аддитивного производства, при котором также используется геометрия сетки. В подобных случаях инженер может перейти непосредственно к 3D-печати.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУХ РАЗНЫХ РЕШЕНИЙ

Генеративный дизайн — это мощный инструмент, который можно использовать как в концептуальном, так и в подробном проектировании. Однако если при генеративном дизайне использовать два отдельных решения, это может вызвать проблемы.

ДВА ВИДА ГЕОМЕТРИИ, ТРИ ВИДА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Традиционное геометрическое моделирование обычно подразделяется на два вида: Параметрическое и прямое. Параметрическое моделирование используется для поэтапного создания модели путем параметризации. При прямом моделировании геометрия изменяется путем непосредственного вытягивания или перетаскивания. В данных методах моделирования используются «граничные представления», в которых геометрия представлена плоскими или мягко изогнутыми поверхностями.

Геометрия сетки, наоборот, состоит из облака точек, представляющих внешнюю поверхность конструкции. В некоторых CAD-приложениях она превращается в твердотельную геометрию путем создания плоских треугольников или трапеций и их объединения в «водонепроницаемое» твердое тело. Моделирование фасетов позволяет инженерам улучшать качество сетки, а также изменять геометрию путем добавления или удаления материала.

Как отмечалось ранее, бывают случаи, когда инженерам нужна гладкая, скругленная геометрия, а бывает, когда геометрия сетки. При концептуальном проектировании

инженеры работают с эскизами и обозначенными пространствами наряду с геометрией сетки отсканированных компонентов. При подробном проектировании они создают 3D-модели с учетом геометрии сетки.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУХ РАЗНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

В традиционных CAD-приложениях, используемых для создания 3D-моделей и многого другого, параметрическое и прямое моделирование применяются вместе, в результате чего получают граничные представления. Эти мощные инструменты моделирования можно использовать для разработки концепций и подробных конструкций, а также для создания физических компонентов. К сожалению, только немногие поставщики решений предлагают моделирование фасетов вместе с традиционными методами.

Поскольку большинство CAD-систем не работают с геометрией сетки, инженеры вынуждены искать другие решения. Некоторые поставщики, особенно те, которые продают аппаратное обеспечение для лазерного сканирования, предлагают отдельные решения, подобные CAD-системе, в которых есть функция моделирования фасетов. В теории инженеры могут использовать и традиционные CAD-системы, и специальные решения, подобные CAD. Но в такой схеме есть ряд минусов.

ОТСУТСТВИЕ ЕДИНОЙ СРЕДЫ

При концептуальном и подробном проектировании нередко необходимо использовать параметрическое, прямое моделирование и моделирование фасетов **поочередно**. Например, пользователь может работать над фасетными данными, затем создать параметрический элемент, затем изменить что-то путем прямого моделирования, а затем снова перейти к моделированию фасетов. Если все три возможности не содержатся в едином решении, проектировщики и инженеры просто не смогут выполнить работу. Вместо этого они будут искать способ передачи данных проектирования между традиционным CAD-решением и специализированным приложением, подобным CAD-системе.

ОБМЕН ДАННЫМИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Если вы знакомы с обменом геометрией между CAD-решениями, тогда вы, скорее всего, знакомы и с сопряженными с ним проблемами. Передача модели из одного программного обеспечения в другое часто приводит к неправильному расположению или исчезновению поверхностей, линий или точек. Это портит модель, потому что она теряет точность. Инженеры вынуждены исправлять подобные проблемы каждый раз, когда геометрия передается из одного типа программного обеспечения в другой.

Перемещение геометрии между традиционными CAD-системами и специализированными решениями, подобным CAD, ничем не отличается. Оно вызывает те же проблемы. В результате инженеры теряют много времени и, скорее всего, это затруднит разработку.

ОСНОВНЫЕ ТЕЗИСЫ

Чтобы воспользоваться возможностями генеративного дизайна, инженеры могут использовать традиционные CAD-системы вместе со специализированными решениями, подобными CAD. Но такая схема сопряжена с существенными помехами в рабочем процессе. Она не позволяет использовать параметрическое, прямое моделирование и моделирование фасетов поочередно, что ограничивает инженеров. Также это приводит к тому, что инженеры тратят много времени на исправление ошибок, возникающих в результате передачи данных между двумя решениями. Генеративный дизайн дает большие преимущества при разработке, но с его применением могут быть сопряжены трудности, если использовать два отдельных решения.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОДНОГО РЕШЕНИЯ

За прошедший год в некоторых CAD-системах стали предлагаться все три вида моделирования — моделирование фасетов, параметрическое и прямое. Больше всего это влияет на генеративный дизайн.

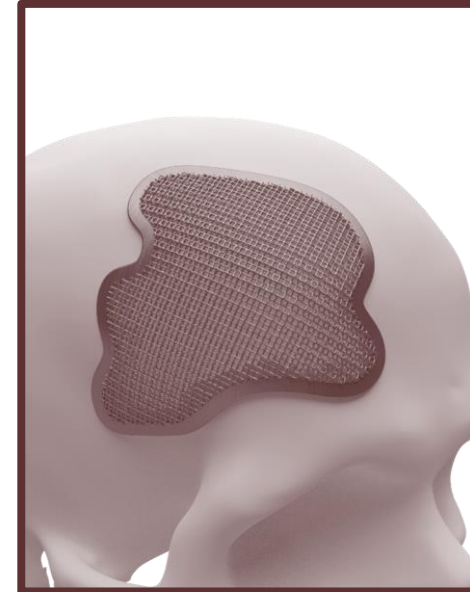
Когда инженеры создают геометрию граничного представления на основе результатов генеративного дизайна, рабочий процесс упрощается. Все возможности моделирования сосредоточены в единой среде, что означает, что у инженеров всегда есть доступ к нужным инструментам.

Кроме того, инженерам не обязательно преобразовывать конструкции, созданные с помощью генеративного дизайна, в геометрию граничного представления. Моделирование фасетов позволяет внести изменения в конструкцию без трудозатратных дополнительных шагов. Это особенно актуально в случае с компонентами, которые производятся с помощью 3D-печати и в которых уже используется геометрия сетки.

Очень важно, что новое поколение CAD-приложений позволяет инженерам избежать обмена данными проектирования. Так как все возможности предлагаются в единой среде, перемещать 3D-данные, геометрию сетки или граничное представление между решениями не нужно. Это можно сделать в единой среде. Инженеры не тратят время на исправление геометрии. Они проектируют.

В целом использование моделирования фасетов наряду с параметрическим и прямым моделированием является существенным преимуществом для инженеров, которые хотят использовать генеративный дизайн при разработке. Это

позволяет избежать множества проблем и дает инженерам возможность сосредоточиться на проектировании.



Сегодня инженеры испытывают огромное давление при разработке. Процесс проектирования не такой гладкий, как хотелось бы, любые ошибки могут привести к задержкам. Технологии, используемые в изделиях, усложняются. Инженеры вынуждены сотрудничать с большим количеством поставщиков, чем когда-либо раньше. Сроки постоянно сжимаются. Из-за большого количества обязанностей инженеры вынуждены останавливаться на первом же технологичном варианте конструкции, а не искать лучший.

ГЕНЕРАТИВНЫЙ ДИЗАЙН ПРИ РАЗРАБОТКЕ

Генеративный дизайн — это технология, при которой CAD-системы автономно генерируют альтернативные варианты конструкции, опираясь на заданные ограничения. После завершения этого процесса, инженеры могут выбрать, какие конструкции они хотят изучить подробнее. Это ускоряет проектирование, так как не требует участия инженеров. В результате генеративного дизайна создается фасетная геометрия, которую можно изменить только с помощью моделирования фасетов. Это особенно важно, так как полученную в результате конструкцию необходимо будет использовать на протяжении всей разработки.

Генеративный дизайн может стать мощным инструментом при концептуальном проектировании. Инженеры смогут исследовать разные варианты конструкции на ранних этапах, пока требования еще гибкие. При подробном проектировании генеративный дизайн можно использовать для доработки конструкции с точки зрения баланса между такими конфликтующими требованиями, как вес и структурная нагрузка, стоимость и собственные частоты.

РЕШЕНИЯ

В традиционных CAD-приложениях, используемых для создания 3D-моделей и многого другого, параметрическое и прямое моделирование часто сочетаются, но моделирование фасетов нередко отсутствует. Поскольку в большей части CAD-систем работать с геометрией сетки нельзя, инженеры

вынуждены использовать отдельные, специализированные решения, дающие возможность моделирования фасетов. Инженеры могут использовать эти решения вместе, но не поочередно, при этом они вынуждены решать проблемы с конвертацией данных.

За прошедший год в некоторых CAD-системах появились все три вида моделирования — моделирование фасетов, параметрическое и прямое. Эти системы позволяют избежать проблем, связанных с использованием двух разных решений.

ВЫВОДЫ

Генеративный дизайн — это мощный инструмент, который помогает инженерам в работе. Однако проблемы, связанные с использованием двух независимых решений для моделирования, могут помешать в работе. CAD-системы, в которых предлагаются возможности параметрического, прямого и фасетного моделирования помогают использовать весь потенциал генеративного дизайна.

© 2017 LC-Insights LLC



Чэд Джексон (Chad Jackson) — аналитик, исследователь и блогер, который работает в компании [Lifecycle Insights](https://lifecycleinsights.com). Он изучает технологии CAD, CAE, PDM и PLM. chad.jackson@lifecycleinsights.com.