

Статья *“Why GM’s electric future is also an additive future”* была опубликована в сетевом журнале *“Additive Manufacturing”*, выпускаемом компанией Gardner Business Media. Оригинал на английском языке можно найти на сайте www.additivemanufacturing.media

Почему электрическое будущее General Motors будет еще и аддитивным

Brent Donaldson, старший редактор *“Additive Manufacturing”*

©2019 Gardner Business Media



Производительность – не единственная причина, по которой автомобилестроительная отрасль так медленно внедряет аддитивные технологии. Имеется одно большое препятствие для их использования, над преодолением которого работают General Motors и Autodesk.

3 мая 2018 года компания General Motors (GM) сделала объявление, которое произвело большой фурор. Автогигант вступил в “многолетний альянс” с софтверной компанией Autodesk из области залива Сан-Франциско, и инженеры двух компаний совместно создали 3D-печатный кронштейн для автомобильного сидения, который оказался на 40% легче и на 20% прочнее оригинальной детали.

Это известие породило медийный бум. Десятки публикаций в различных изданиях, начиная с *“Additive Manufacturing”* и заканчивая *“WIRED Magazine”*, сообщали об этом, странной формы кронштейне размером с настольную лампу – и причина была веской. Новый кронштейн оказался не только прочнее и легче, чем изготовленный традиционным способом. Используя возможности генеративного проектирования в облачной среде Autodesk Fusion 360, инженеры GM смогли превратить сборку, состоящую из восьми компонентов, в одну цельную деталь.

Более века уменьшение веса автомобильных деталей (к которому стремились все) было процессом постепенным. Облегчить деталь на 40% – дело неслыханное. То же самое можно сказать про консолидацию восьми сборочных компонентов кронштейна в одну деталь. Наиболее известным

примером консолидации, осуществленной благодаря аддитивным технологиям изготовления, является 3D-печатная топливная форсунка двигателя компании General Electric. Аналогичный прорыв в автомобилестроении, где детали ежегодно производятся сотнями тысяч штук, действительно стал хорошей новостью.

Вместе с текстом компания GM опубликовала и фотографию кронштейна: изящный объект, требующий минимального расхода металла, с взаимосвязанными изогнутыми решетчатыми структурами. Это функциональная скульптура, эстетический гибрид тазобедренного сустава робота с сооружением в стиле модерн.

Тем не менее, несмотря на все эти инновации, трудно игнорировать тот факт, что напечатанный компанией GM кронштейн пока еще остается только деталью, подтверждающей концепцию (*proof-of-concept*). Теперь, перед началом второго раунда итераций (чтобы добиться еще большей экономии по весу), деталь, вероятно, будет опробована в элитных спортивных машинах; только потом ей откроется дорога в парк потребительских автомобилей GM.

Однако, между строк пресс-релиза GM скрывается и другая история, и она позволяет прогнозировать, что очень скоро в отрасли начнутся очень большие перемены. Хотя каждый из автопроизводителей “большой тройки” стремится к полностью электрическому будущему, в котором доминируют генеративное проектирование и аддитивное производство (*Additive Manufacturing, AM*), компания General Motors делает акцент на том, что победа достигается не только за счет использования более быстрых принтеров, но и за счет переосмысленно-

го цифрового рабочего процесса.

Похоже, ставка компании рассчитана на то, что к тому времени, когда её инженеры доведут до совершенства новый процесс, охватывающий генеративное проектирование, подготовку аддитивного производства и его симуляцию (сейчас они проходят через этот процесс вместе с



Чтобы создать этот кронштейн для автомобильного сидения, инженеры компаний General Motors и Autodesk использовали новейшую облачную технологию генеративного проектирования, позволившую консолидировать в одну деталь то, что раньше было восемью сборочными компонентами. Полученный в качестве доказательства правильности концепции 3D-печатный кронштейн оказался на 40% легче и на 20% прочнее исходного образца

инженерами *Autodesk*, прикомандированными к *GM*), показатели стоимости и производительности аддитивного изготовления металлических изделий позволяют начать их массовое производство.

Если автогигант *GM* прав, это означает, что эпоха двигателей внутреннего сгорания заканчивается – без большого шума, просто 150-тью вариантами конструкции 3D-печатного кронштейна, предложенными искусственным интеллектом.

Инженеры в запретной зоне

Пожалуй, с момента появления 3D-печати компания *GM* использовала аддитивное производство в большей степени, чем любой другой автомобилестроитель. В компании говорят, что первые доступные “машины быстрого прототипирования” были приобретены еще в 1980-х; с тех пор на её площадках было установлено более полусотни машин, которые лишь за последнее десятилетие произвели десятки тысяч 3D-печатных прототипов деталей. Но именно под руководством **Mary Barra**, ставшей генеральным директором *GM* в начале 2014 года, компания укрепила сотрудничество с ведущими игроками АМ-отрасли.

Два года назад несколько инженеров-конструкторов *GM* были направлены в Кремниевую долину с заданием изучить аддитивные технологии. Некоторые из них провели две недели в Технологическом центре компании *Autodesk* в Сан-Франциско (9-й причал), где проходили интенсивный курс обучения по использованию возможностей генеративного проектирования *Fusion 360* и их интеграции в рабочие процессы *GM*.

Сотрудничество *GM* и *Autodesk* является взаимовыгодным. В октябре 2018 года компания *Autodesk* объявила, что все уровни её решения *Fusion 360* для генеративного проектирования, продвинутой симуляции и программирования 5-осевой обработки консолидированы в единый продукт. Трудно сказать, есть ли здесь прямая связь, но произошло это после того, как в январе 2018-го две компании формализовали свое многолетнее сотрудничество. Судя по моим беседам с руководителями *GM* и *Autodesk* по проектированию и инженерным расчетам, такая интеграция была именно тем, что требовалось для *GM*.



Технологический центр Autodesk в Сан-Франциско (Pier 9)

Как утверждает компания *GM*, с 2016 года ей удалось уменьшить суммарную массу 14-ти моделей своих автомобилей на 2.25 тонны. Перечисляя достижения в сфере материалов и технологий, компания отмечает, что большинство из этих моделей потеряли в весе более 165 кг. Модель *Chevrolet Silverado* 2019 года легче модели 2018 года на 200 кг.

Kevin Quinn, директор *GM* по вопросам аддитивного проектирования и производства, полагает, что пройдет еще какое-то время, прежде чем генеративное проектирование и аддитивное производство станут основными технологиями, влияющими на снижение веса. Взяв в качестве примера этот кронштейн для сидения автомобиля, он сравнивает использование традиционных и будущих методов для обеспечения такого снижения.

“Традиционно мы начинали с последней версии модели, может быть, немного корректировали её, и предлагали два-три варианта конструкции”, – говорит **Kevin Quinn**. – “Мы могли добиться уменьшения массы на 5% и сделать деталь немного прочнее”.

Но генеративное проектирование подразумевает другой тип мышления. Здесь требуется не прямое моделирование геометрии, а задание исходных данных и ограничений – варианты геометрии программа предложит сама. По его словам, проектирование начинается с “трудных мест” конструкции – областей детали, где материал необходим, и которые должны соответствовать определенным требованиям. “К примеру, это могут быть области крепления кронштейна к полу или место, где к кронштейну крепится пряжка ремня безопасности. Итак, вы задаете эти трудные места и говорите: “Здесь мне необходим материал такой формы, по всей стороне, а точка крепления должна быть вот такой величины”, – поясняет г-н **Quinn**.

Генеративное проектирование подразумевает другой тип мышления. Здесь требуется не прямое моделирование геометрии, а задание исходных данных и ограничений – варианты геометрии программа предложит сама.

Требования, касающиеся статической нагрузки, указываются в тех случаях, когда эти трудные места соединяются с другими деталями или узлами. Затем инженеры вводят данные для прилегающих компонентов – таких как пол, сидение и пластиковая окантовка кронштейна. Это – запретные зоны, то есть области, про которые программа знает, что там не должно быть материала.

В заключение конструкторы вводят данные для самого аддитивного процесса – главным образом, это касается ориентации при построении, опорных структур и дополнительного материала, который может понадобиться для завершающих операций механической обработки, таких как 5-осевое фрезерование.

На всех этих этапах инженеры могут манипулировать материалами, чтобы протестировать характеристики каждого нового варианта.

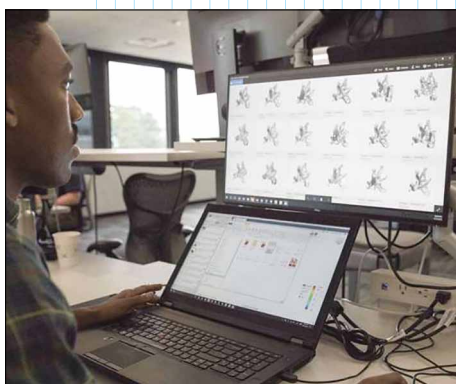
“Вам не избавиться от участия инженера в этом процессе”, – говорит г-н *Quinn*. – “Что вы можете сделать, так это дать этому человеку еще больше простора для проектирования и еще больше вариантов для обсуждения. Следуя традиционному сценарию проектирования, мы займемся улучшением последней версии кронштейна, и, возможно, получим два-три варианта для выбора. Используя генеративное проектирование, мы спрашивали себя, что же является самым важным критерием? Можно было выбрать жесткость, но мы сказали, что главный приоритет – получить наименьшую массу, с которой можно пройти через тестирование в нашей симуляционной модели, потому что конструкция должна соответствовать нашим требованиям, когда мы моделируем аварии и проводим другие тесты”.

Армада электромобилей уже на подходе

2 октября 2018 года *Mark Reuss*, исполнительный президент *General Motors*, заявил, что компания верит в то, что её будущее будет на 100% электрическим. Это заявление, не содержащее конкретных сроков, тем не менее, поставило *GM* в ряд остальных традиционных автомобилестроителей, которые публично взяли на себя обязательство двигаться к электрическому будущему. И они его выполняют.

В прошлом году компания *Ford* объявила о своих планах инвестировать в электромобили 11 млрд. долларов к 2022 году и увеличить свой флот гибридов и электромобилей до 40 моделей. Компания пообещала снизить расходы на 14 млрд. долларов – в основном за счет уменьшения производства седанов и двигателей внутреннего сгорания.

Немецкий автопроизводитель *Volkswagen* инвестирует 20 млрд. долларов в технологии для



Процесс генеративного проектирования кронштейна был осуществлен за 150 итераций. Такое количество итераций – результат настроек и заданных ограничений для геометрии, которую может предлагать ПО Autodesk. Начиная процесс с “тяжелых мест” конструкции – областей, в которых материал должен соответствовать определенным требованиям. Другие входные данные включали условия статической нагрузки, исходные данные для прилегающих компонентов (так называемые запретные зоны, где не должно быть материала) и настройки для процесса 3D-печати – в первую очередь, данные об ориентации при построении и об опорных структурах, а также дополнительном материале, который может понадобиться для завершающих операций механической обработки, таких как 5-осевое фрезерование



Посмотрим ближе на некоторые варианты конструкций, сгенерированные программой за 150 итераций. Как считает Kevin Quinn, директор GM по вопросам аддитивного проектирования и производства, решающую роль в генеративном проектировании, ориентированном на возможности аддитивного производства, играет инженер: “Что вы можете сделать, так это дать этому человеку еще больше простора для проектирования и еще больше вариантов для обсуждения. ...Используя генеративное проектирование, мы спрашивали себя: что же является самым важным критерием? Можно было выбрать жесткость, но мы сказали, что главный приоритет – получить наименьшую массу, с которой можно пройти через тестирование”



Сравните традиционный кронштейн для автомобильного сиденья (слева) и новый образец, полученный с помощью генеративного проектирования и 3D-печати из металлического порошка. Таким способом компания GM вместо сборки из восьми компонентов создала цельный кронштейн. Сейчас начинается второй раунд улучшения конструкции с целью еще больше уменьшить её массу. Перед началом использования в потребительских автомобилях кронштейн, вероятнее всего, будет испытан в элитных спортивных машинах

электромобилей и говорит, что все мультибрендовые линейки будут иметь опцию электропривода. Генеральный директор *Porsche* ожидает, что их модели автомобилей станут электрическими к 2030 году. А компания *Volvo* движется еще быстрее и заявляет, что уже с 2019 года все новые модели *Volvo* будут только гибридными или полностью электрическими.

Международные обязательства по сокращению выбросов вредных веществ и запрету бензиновых и дизельных двигателей усиливают давление на автопроизводителей. Великобритания, Франция, Германия и Индия приняли ряд решений, которые включают в себя запрет двигателей внутреннего сгорания в следующие 25 лет и значительные инвестиции в инфраструктуру для зарядки аккумуляторов. Примерно 40% из продаваемых сегодня в Норвегии автомобилей – с нулевым уровнем выброса вредных веществ, и к 2025 году страна намерена довести это число до 100%. Китай, самый большой в мире рынок автомобилей, недавно принял программу кредитования электромобилей, которая постепенно наказывает автопроизводителей, продолжающих продавать бензиновый или дизельный автотранспорт. И хотя США сейчас отходят от своих стандартов экономии топлива (*Corporate Average Fuel Economy, CAFE*), американские автопроизводители, возможно, зашли слишком далеко в деле снижения выбросов и создания электромобилей будущего, чтобы повернуть вспять.

В настоящий момент *General Motors* предлагает только один гибридный электромобиль *Chevy Volt* (производство которого прекратится в конце 2019 года) и один полностью электрический автомобиль *Chevy Bolt EV*. Когда эта статья уже была готова к публикации, корпорация *GM* заявила о реорганизации своих производственных мощностей и закрытии нескольких заводов в США и за рубежом. В сообщении подчеркивалось, что *GM* намеревается много инвестировать в электрический транспорт (*Electric Vehicles, EVs*). Действительно, к 2023 году компания планирует предложить “не менее 20-ти” автомашин с электрическими аккумуляторами и топливными элементами в своей глобальной линейке (включая две новые модели – уже в ближайшие 15 месяцев).

Что это означает для аддитивного производства? Какая связь между *EVs* и *AM*? Ответ (или один из ответов) таков: масса автомобиля.

Несмотря на наличие инфраструктуры для зарядки аккумуляторов, в США есть два основных препятствия для повсеместного использования электромобилей: стоимость и ограниченность пробега на одну зарядку. Уменьшение веса деталей за счет возможностей аддитивных технологий видится ключевым решением для преодоления этих двух препятствий.

Тем не менее, здесь стоит отметить, что осуществленный инженерами *GM* за 150 итераций

процесс генеративного проектирования кронштейна с объединением в одну деталь не был просто выбором самого легкого по весу варианта. Свою роль здесь сыграли эстетика, технологичность изготовления, результаты симуляции. Выбранная в итоге из этих 150-ти вариантов конструкция была легкой, но не самой легкой из всех.

Связь между *EVs* и *AM* существует отчасти потому, что появление совершенно нового типа автомобилей предоставляет возможность для внедрения нового, более гибкого и более рационального подхода к производству. Чтобы в будущем использовать технологические достижения в полной мере, в первую очередь необходимо изменить привычки и мышление. Именно для того, чтобы это произошло – по крайней мере, в обозримом будущем – **Mike Grau** [из *Autodesk Research*] был командирован в *General Motors*.

Новый рабочий процесс для автомобилестроения

Mike Grau – один из менеджеров проектов в *Autodesk*, его команда занимается консультированием предприятий в обеих Америках. Он был одним из тех инженеров, кто в прошлом году работал в техническом центре *General Motors Technical Center* в Мичигане.

Его опыт использования средств симуляции и *CAD* на предприятиях автомобилестроительной отрасли позволяет ему утверждать, что даже если бы аддитивные машины и могли бы справиться с объемами производства, необходимыми в автопромышленности, нынешним инженерам всё равно было бы трудно освободиться от привычных рабочих процессов. Его основная задача – работать с инженерами *GM* над усовершенствованием процессов проектирования *CAD*-модели, подготовки настроек для аддитивного производства и преобразования модели для импортирования в среду симуляции.

“Вы должны видеть весь рабочий процесс целиком”, – говорит г-н *Grau*. – “На самом деле это не одна дисциплина, в которой вам нужно быть специалистом. Моя роль – управлять проектом и помогать инженерам *GM* осваивать эти разные сферы, чтобы создать безупречный рабочий процесс проектирования, переходящий из *CAD* в 3D-печать и симуляцию”.

Г-н *Grau* считает, что численное моделирование характеристик и поведения сгенерированных деталей всё еще остается серьезной проблемой.

“Мы можем создать отличную структуру. Мы можем создать прекрасные легкие решетчатые изделия, но моделировать их разрушение очень сложно”, – говорит он. – “И это не проблема *Autodesk*. Это проблема отрасли. Это в значительной степени физическая и математическая проблема. В авиационной промышленности чаще всего анализируют статические нагрузки, потому что в идеале самолеты не сталкиваются”.

По словам г-на *Grau*, это объясняет, почему предприятия авиакосмической отрасли быстрее внедряют аддитивные технологии и генеративное проектирование, чем автомобилестроители.

“В автомобиле нам важны и такие виды нагрузок, которые не рассматриваются в авиастроении. Когда речь идет об аварийных столкновениях, требованиях федерального законодательства, нормах по скрипу и треску, [следует помнить, что] все конструкции, которые вы создаете в ходе этого рабочего процесса, должны быть готовы для прохождения симуляционных тестов”, – говорит он. – “Это очень усложняет нашу работу по созданию рабочих процессов, которые *OEM*-производители могли бы внедрять у себя”.

Mike Grau добавляет, что новые функции *Fusion 360*, ориентированные на аддитивное производство и на симуляцию, должны значительно ускорить рабочий процесс, чему обе компании совместно учатся, и что они совместно совершенствуют.

“Сейчас мы берем образцы конструкций *GM* и пропускаем эти конструкции через новый рабочий процесс”, – говорит г-н *Grau*. – “Указываем настройки, генерируем первый вариант, затем оптимизируем результат для аддитивного производственного процесса. Потом проводим нелинейный анализ или моделируем разрушение этих деталей”.

Mike Grau и инженеры *GM* рассматривают разные материалы и множество факторов, относящихся к безопасности.

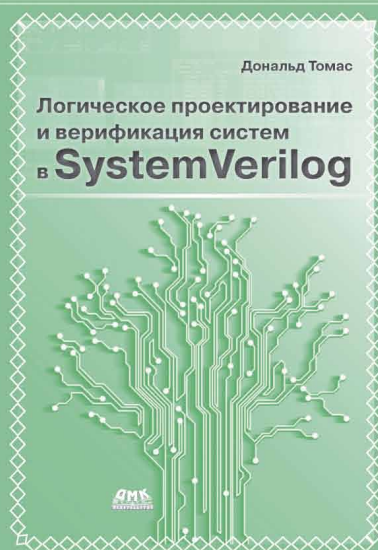
“То, чему мы учимся у специалистов *GM* в сфере проектирования, помогает нам оптимизировать рабочие процессы в наших программах. А инженеры *GM* получают пользу от нас, поскольку могут изучить, как работают наши программы. Это действительно постоянная совместная разработка рабочих процессов. Симбиоз”.

Г-н *Grau* не скрывает, что уже в скором времени облегченные детали, полученные с помощью генеративного проектирования и аддитивного производства, найдут применение в дорогих спортивных машинах. А когда же новый подход будет готов для использования в производстве потребительских автомобилей?

“Я не буду строить догадки”, – говорит он. – “Это всё уже здесь. Единственное, что нас сдерживает – по крайней мере, для большей части деталей – это эффективность процесса. До сих пор процессы проектирования и симуляции занимали много времени. Они требовали много ручной работы инженеров. Пока аддитивность еще только развивается, и наше программное обеспечение должно помочь нам наладить и отшлифовать процесс. Но мы – инженеры. Мы можем это сделать”. 🙄

◆ Новинки технической литературы ◆

Логическое проектирование и верификация систем в **SystemVerilog**



Скоро в продаже!



SystemVerilog – язык описания аппаратуры, позволяющий инженерам работать с моделями высокого уровня абстракции, что отвечает сложности современных систем на базе СБИС и ПЛИС. Цель книги – дать представление о широком спектре возможностей языка и заложить фундамент для дальнейшего изучения. Описано введение в моделирование аппаратуры, рассмотрены вопросы проектирования на уровне регистровых передач, в том числе разработка комбинационных схем. Охвачены такие темы, как разработка конечных автоматов с трактом данных и интерфейсов, а также создание тестовых окружений (в том числе с использованием утверждений и средств оценки функционального покрытия). Предполагается, что у читателя есть базовая подготовка в области схмотехники и программирования. Издание предназначено студентам вузов, изучающих современную схмотехнику, а также будет полезно инженерам-разработчикам, знакомых с Verilog или VHDL или желающих освежить свои навыки.

Покупка и заказ: www.дмк.рф или dmkpress@gmail.com