

# Порождающее проектирование – инновационный подход к созданию цифрового макета изделия

Лидия Дейнеко, Наталья Тертышная (ГП “КБ “Южное”), Павел Плащевский (ЧАО “Аркада”)

В настоящее время во всём мире активно развивается и внедряется новая концепция промышленности – *Industry 4.0*. Применение принципов *Industry 4.0* при проектировании и изготовлении изделий позволяет получать ряд преимуществ, недоступных в случае использования традиционных методов. При этом информационные технологии становятся уже не вспомогательными, а основными инструментами для решения всё более сложных задач и способствуют появлению инновационных решений при проектировании и производстве.

Одними из ключевых нововведений, которые уже сегодня нашли применение на площадке ГП “КБ “Южное”, являются порождающее проектирование и аддитивное производство, открывающие новые возможности для повышения эффективности и рентабельности производства.

## Вводная часть

При разработке изделия всегда актуальны вопросы улучшения способов проектирования и конструирования деталей, а также их оптимизация с целью создания конструкций с наилучшим соотношением веса, прочности и стоимости. В нашем случае, для ракет-носителей (РН), важным параметром является вес. Кроме того, немаловажным моментом остается выбор эффективного способа изготовления деталей, позволяющего учитывать все нюансы.

В этой связи сейчас очень остро стоит вопрос оптимального проектирования, одним из вариантов которого является технология порождающего проектирования.

Генеративное, или порождающее проектирование – общее понятие, которое описывает новые инструменты, появляющиеся в системах автоматизированного проектирования. Преимуществом этой технологии является интеграция CAD/CAE-систем, что позволяет изменить сам процесс проектирования. Порождающее проектирование объединяет знания из разных областей (конструирование и расчеты), и это дает синергетический эффект, поскольку расчетный модуль задействуется уже на этапе придания формы изделию (или его части). При этом функциональные возможности порождающего проектирования позволяют сразу выполнять оптимизацию изделия, исходя из анализа конструкции и условий её работы, учитывая на протяжении деформируемого состояния.

Функционал порождающего проектирования уже интегрирован в целый ряд современных программных продуктов компании Autodesk: *Autodesk Inventor Professional*, *Autodesk Fusion 360*, *Autodesk Netfabb* (рис. 1).

## Пример из практики

Чтобы показать возможности порождающего проектирования, разберем задачу минимизации массы для 3D-модели детали, которая используется в конструкции РН. Для этого нам необходимо оптимизировать геометрическую форму детали. Кроме того, для изготовления оптимизированных деталей придется изменить традиционную технологию изготовления – путем применения методов аддитивного производства.

В качестве примера возьмем такую деталь, как кронштейн. Кронштейн является компонентом

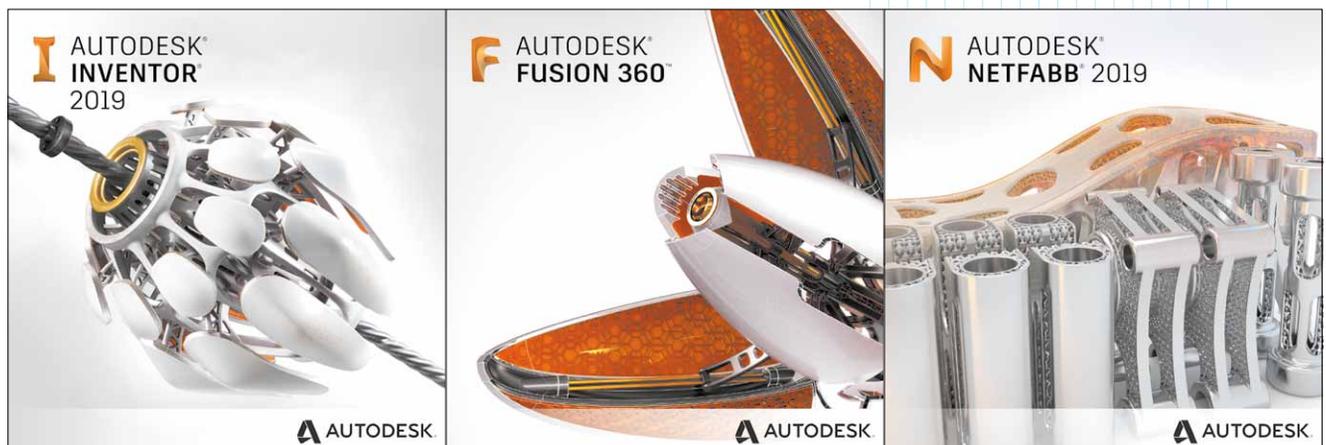


Рис. 1. Продукты Autodesk с функционалом порождающего проектирования

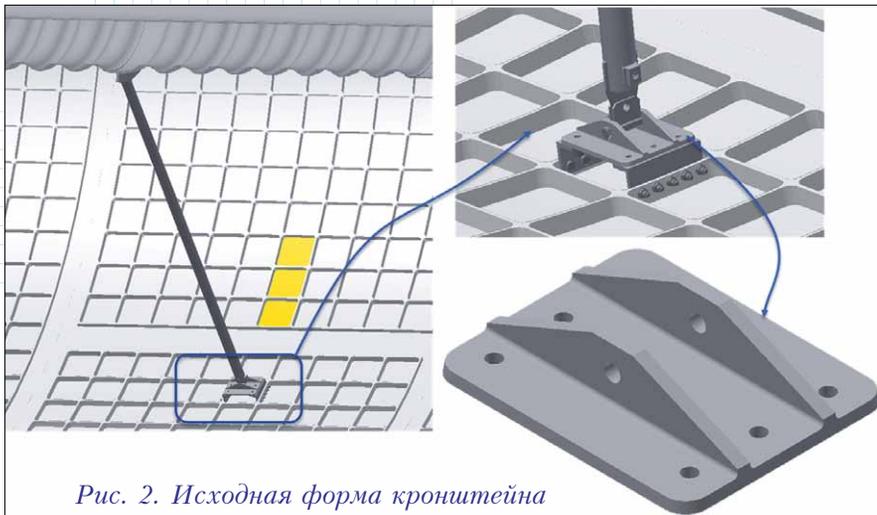


Рис. 2. Исходная форма кронштейна

крепежного узла конструкции бака РН, предназначенного для крепления тоннельного трубопровода (рис. 2).

### Способ решения

Для решения задачи оптимизации конструкции кронштейна с помощью средств порождающего проектирования был выбран специализированный модуль “Генератор форм”, входящий в комплект Autodesk Inventor Professional.

Генератор форм – это программный инструмент, позволяющий разрабатывать облегченные детали при обеспечении максимальной жесткости с учетом заданных зависимостей (рис. 3). Цель применения



Рис. 3

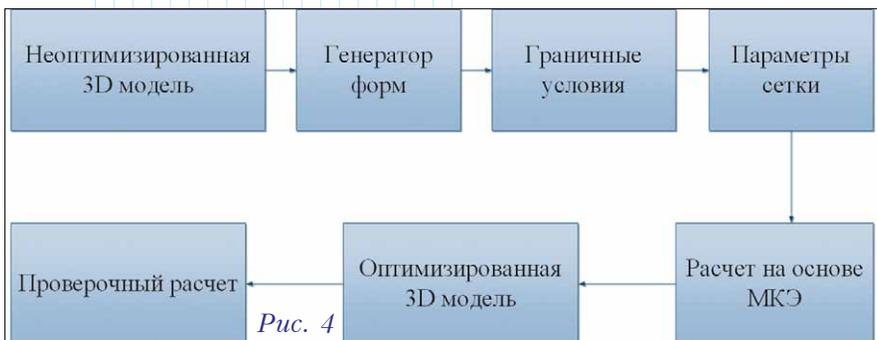


Рис. 4

генератора форм состоит в определении оптимальной топологии для исследуемого объекта. Параметром оптимизации служит целевая функция по массе.

Общая схема использования генератора форм показана на рис. 4.

Итак, алгоритм работы с генератором форм будет следующим:

1) Определить компоновочную форму будущего изделия (с учетом габаритных и крепежных параметров) или же выбрать модель детали для анализа.

2) Выбрать материал, из которого будет изготовлено изделие.

3) Применить зависимости и нагрузки, которые деталь будет испытывать при эксплуатации.

4) Указать геометрические граничные условия – области, которые не должны изменяться в процессе создания формы.

5) Задать параметры сетки и критерии для поиска оптимальной формы детали. Выполнить исследование. Результатом является сеточная модель, соответствующая заданным граничным условиям и критериям.

6) Преобразовать форму в деталь. Полученная оптимальная форма накладывается на исходную модель и служит для дальнейшей модификации детали.

7) Спроектировать окончательный вид детали с помощью стандартных инструментов редактирования из арсенала Autodesk Inventor Professional.

8) Провести проверочный расчет.

### Полученные результаты

В результате оптимизации алюминиевый кронштейн с исходной массой 0.227 кг стал легче на 30% (-0.068 кг). Масса оптимизированной детали составила 0.159 кг (рис. 5).

Если не принимать во внимание изменение технологии производства, данная оптимизация может считаться успешной. Но результатом порождающего проектирования являются модели с более изощренной конфигурацией, что может привести к усложнению технологического процесса их изготовления.

В качестве альтернативы здесь можно обратиться к аддитивным технологиям, которые позволяют изготавливать изделия гораздо более сложных форм. При этом

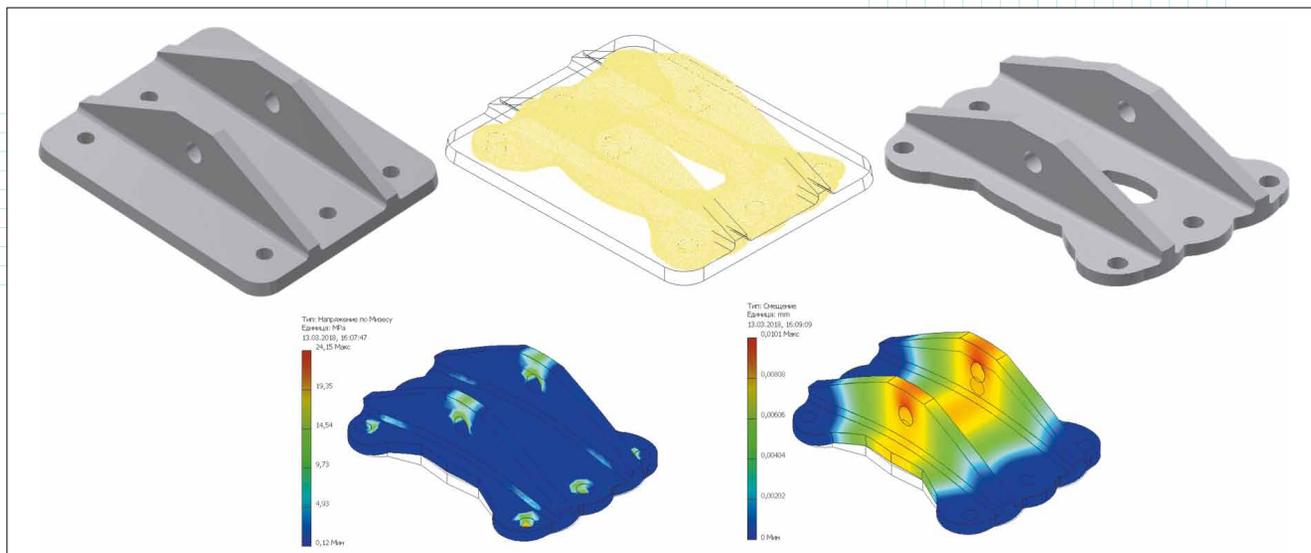


Рис. 5. Вид кронштейна после оптимизации



Рис. 6. Макет кронштейна, напечатанный из материала ABS

трехмерная печать может работать не только с алюминием, но и с пластиком (для создания макетных образцов), а также с сыпучими порошкообразными материалами, состоящими из нескольких компонентов и предназначенными только для процессов аддитивного производства.

Чтобы материализовать оптимизированную форму, с помощью 3D-принтера был изготовлен макет детали (рис. 6). Для печати использовался материал ABS. При однокомпонентном методе печати образец обычно подвергается дообработке для удаления вспомогательных элементов (подложки, суппорта).

### Промышленное изготовление

Переход на печать металлических изделий на промышленных 3D-принтерах требует, помимо применения инструментов порождающего проектирования, еще и внесения некоторых изменений в

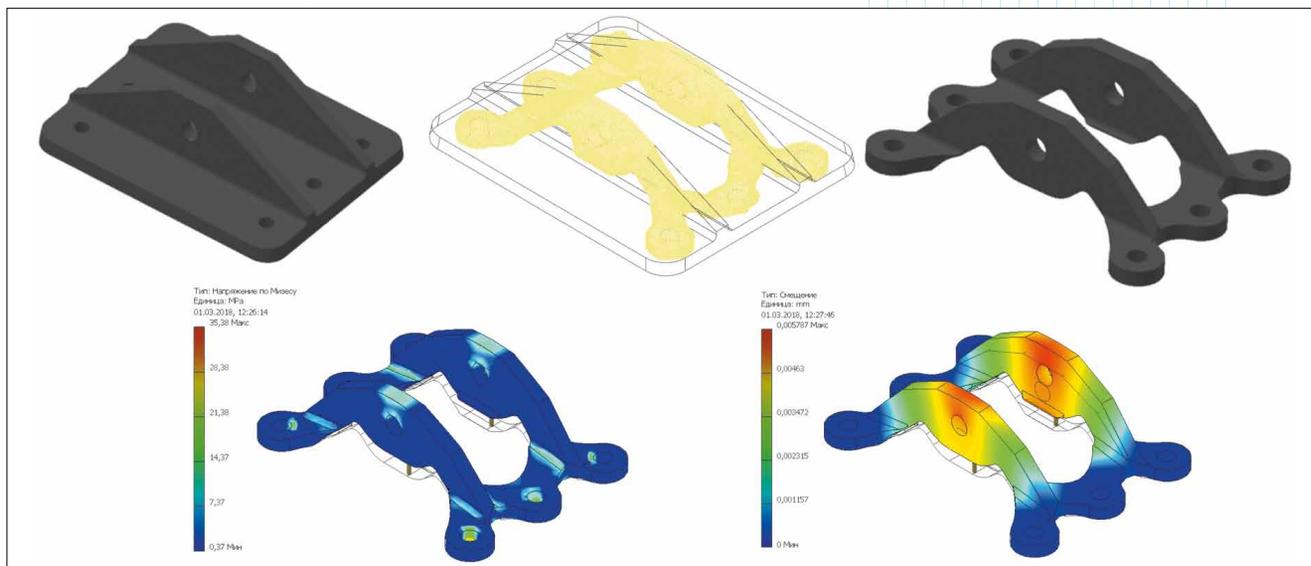


Рис. 7. Повторная оптимизация с материалом Inconel625

сам процесс проектирования 3D-моделей – с учетом расширения базы материалов, используемых в аддитивном производстве.

В этой связи в базу материалов нашего предприятия был добавлен материал *Inconel625* – многокомпонентный порошкообразный материал, который сейчас используется на предприятии КБ “Южное”. На основе данных в каталогах производителей материалов, в *Autodesk Inventor Professional* были заданы физические свойства *Inconel625*. Отличительной особенностью этого материала является высокая плотность и повышенная прочность, что позволяет значительно изменять конфигурацию оптимизируемой детали.

Далее, в исходной модели кронштейна материал алюминий был заменен на *Inconel625*. Вследствие другой плотности этого материала, масса 3D-модели тоже изменилась и составила 0.712 кг.

После этого был выполнен повторный анализ модели с учетом изменения материала.

В результате повторной оптимизации масса детали из материала *Inconel625* уменьшилась на 70% (-0.482 кг) от начальной и составила 0.230 кг (рис. 7).

Технологическая подготовка производства в случае печати на 3D-принтере имеет свои особенности. Одной из важнейших составляющих этого процесса является проверка и подготовка 3D-модели. Подготовка включает в себя

определение и создание поддерживающих поверхностей (суппортов) для тех моделей, которые содержат отверстия и нависающие элементы, а также элементов крепления деталей на плите 3D-принтера.

Кроме того, необходимо специализированное ПО для создания оптимальной траектории печати, позволяющей снизить остаточные напряжения, возникающие в процессе печати. После его завершения мы получаем близкую к окончательной форме заготовку, которая подвергается доработке с помощью традиционных технологий.

На иллюстрации (рис. 8) показано, как выглядит заготовка детали кронштейна, напечатанная из материала *Inconel625*.

## Выводы

Как показала практика, инструменты порождающего проектирования могут быть применены к деталям основной конструкции РН, компонентам узлов и систем изделия, крепежным элементам и пр. Стоимость изготовления деталей с помощью 3D-принтера еще высока, что связано с новизной технологий аддитивного производства. Однако они интенсивно развиваются, и тенденция к снижению стоимости материалов является вполне ожидаемой.

В настоящее время аддитивным способом на предприятии КБ “Южное” производятся сложные детали, которые невозможно изготовить с помощью традиционных технологий. Внедрение аддитивных технологий позволяет создавать заготовки практически любых геометрических форм – и это преимущество, в комбинации с порождающим проектированием, обеспечивает значительное уменьшение массы изделий, что является значимым фактором для ракетостроительной отрасли. Когда аддитивные материалы станут более доступными по цене, 3D-принтеры могут стать достойной альтернативой станкам с ЧПУ в серийном производстве.

Еще одним важным преимуществом совместного использования порождающего проектирования и аддитивного производства является возможность оптимизации всей сборки – уменьшение количества сборочных единиц с целью создания, в идеале, единой детали.

Несмотря на то, что изготовление с помощью аддитивных технологий сегодня остается дорогостоящим процессом, совместное применение порождающего проектирования и аддитивного производства становится перспективным направлением в промышленных компаниях всего мира, включая ГП “КБ “Южное”. Освоение возможностей порождающего проектирования требует высокой квалификации специалистов – при этом, в ходе обучения необходимо изучать и процессы аддитивного производства. На нашем предприятии обучающий курс порождающего проектирования включен в программу обучения по повышению квалификации сотрудников для работы в перспективных проектах. 🗨



Рис. 8. Заготовка кронштейна, напечатанная из материала *Inconel625*