

УДК 004.925.84:007.52

Компьютерное моделирование компонентов робототехнических устройств при изготовлении на 3D принтере

Киселев М. А.^{1,*}

m.kiselev@rtc.ru

¹Государственный научный центр Российской Федерации
«Центральный научно-исследовательский и опытно-
конструкторский институт робототехники и технической
кибернетики», Санкт-Петербург, Россия

В статье поднимаются вопросы компьютерного 3D моделирования силовомоментных и точностных характеристик компонентов роботов с учетом свойств и условий их изготовления из полимерных материалов. Ведется анализ 3D моделирования компонентов робототехнических устройств. Рассматривается когнитивный подход в функциональном программировании сложных деталей с визуально-интерфейсным интероперабельным стилем написания программ. Поднимаются вопросы создания прототипов корпусов с использованием 3D принтера. Приводятся частично теоретические выкладки и рассматриваются отдельные конкретные примеры. Цифровые технологии 3D вместе с когнитивным программированием дают уникальную возможность создания сложных пространственных деталей и корпусов проектируемых робототехнических устройств. Статья будет полезна специалистам в данной области и инженерам, интересующимся моделированием компонентов робототехнических устройств.

Ключевые слова: моделирование, 3D принтер, компоненты робототехники, когнитивное программирование, корпусные изделия, 3D-прототипирование, 3D-технология

Вводная часть

Компьютерное моделирование, как познавательный приём неотделим от развития знания в обществе. В любой из наук о природе использование и построение модели есть мощное орудие познания. Существующие реальные процессы и объекты очень сложные и многогранные.

Лучшим способом для их изучения есть построение модели процесса, который отображает определенную грань существующей реальности и чаще всего на много проще, чем в реальности. Компьютерное моделирование сейчас имеет общенаучный характер. Оно применяется в исследованиях как живой, так и неживой природы, использование в

науках как об обществе, так и о человеке. В нашем случае речь пойдет об компьютерном моделировании в роботехнических системах [1].

Актуальность темы предлагаемой к рассмотрению темы состоит в том, что компьютерное моделирование силовомоментных и точностных характеристик компонентов роботов с учетом свойств и условий их изготовления из полимерных материалов имеет первостепенное значение для программирования и изготовления на 3D принтерах при условии сокращения использования дорогостоящего оборудования.

Последнее обстоятельство и дало импульс для создания технологий, позволяющих производить математическое моделирование отдельных компонент роботехнических устройств с учетом необходимых характеристик. 3D печать позволяет создать уникальные детали, которые не возможно получить другими известными методами.

Основная часть

В исследовании ставилась цель – подтвердить возможность обеспечения прочностных и точностных характеристик корпусов при печати их из полимерных материалов на 3D принтере. Основной упор в исследовании был сделан на математическое моделирование на основе технологии когнитивного программирования исследуемых деталей. В качестве последних брались корпуса роботехнических устройств [2].

Анализ проектируемой модели был просчитан на прочность при помощи SimulationXpress Study программы SOLIDWORKS.

При расчетах используется метод конечных элементов. Данный метод в определенной степени соотносим с иными методами, применяемыми в инженерном анализе. Эти методы условно можно подразделить на два типа: классические методы и численные методы (рис. 1).



Рис. 1. Методы инженерного анализа

Классическими методами задачи, касающиеся распределения полей, можно решить напрямую. В этом случае применяются системы дифференциальных уравнений, которые построены на основе фундаментальных принципов физики. Что касается точного решения, оно является возможным только для самых простых геометрических задач, приложения нагрузок и граничных условий.

Приближенные методы охватывают более широкий круг задач классической физики. Результаты в таком случае имеют представление в форме рядов, в которых после проведения исследования сходимости отбрасываются младшие члены.

При использовании приближенных методов также требуются регулярная геометрическая форма, простые граничные условия и удобное приложение нагрузок.

Существенное преимущество классических методов заключается в том, что благодаря им обеспечивается глубокое понимание исследуемого вопроса.

Энергетическими методами [13] отыскиваются минимумы выражения для нахождения значения потенциальной энергии (полной) конструкции в заданной области. Такой подход имеет достаточно узкое применение.

При использовании метода граничных элементов [2] уровень размерности задачи существенно понижается по причине того, что элементы представляют исключительно границы моделируемой области. Кроме того, для данного метода требуются знания о фундаментальном решении системы уравнений, которые бывает достаточно трудно получить.

Методом конечных разностей можно преобразовывать систему, состоящую из дифференциальных уравнений и граничных условий в соответствующую им систему алгебраических уравнений. Данным методом часто решаются нерегулярные задачи, где геометрия, граничные условия и нагрузки – сложные. Но такой метод имеет существенный минус – он часто оказывается излишне медленным по причине того, что требование наличия регулярной сетки по всей области исследований приводит к системам уравнений с большими порядками [3, 13].

Метод конечных элементов можно обобщить на почти неограниченный класс. Это возможно потому, что в нём позволительно использование элементов, обладающих различными формами, для получения сеточных разбиений любых нерегулярных областей. Данный метод можно применять к любому классу проблемы распределения полей, в которые включен анализ конструкции, течение жидкости, перенос тепла, электромагнетизм.

Основа и алгоритм метода конечных элементов

Метод конечных элементов это численный метод используемый для решения дифференциальных уравнений. В таком случае он представляет собой как метод, при помощи которого строится математическая модель, так и метод, который её исследует.

Основная суть данного метода заключается в том, что непрерывная величина на рассматриваемой области проходит аппроксимацию множеством кусочно-непрерывных функций, которые определены на конечном числе подобластей.

Непрерывная величина может являться скалярной функцией координат. Это может быть, к примеру, температура, или векторная функция, или перемещением точек деформируемого тела.

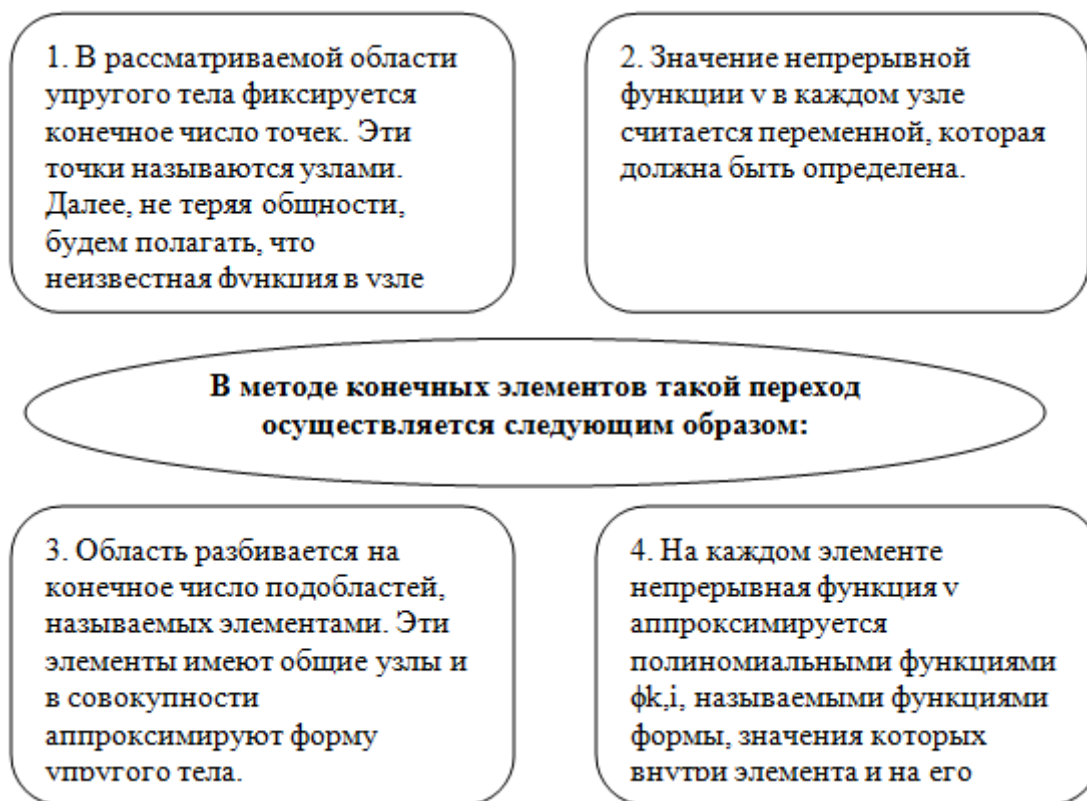
Рассмотрим упругое тело, которое находится в состоянии равновесия под воздействием внешних нагрузок. Пусть v – это произвольное поле возможных перемещений, которое удовлетворяет граничным условиям. Тогда полную потенциальную энергию системы можно будет записать следующим образом:

$$\Pi(v) = U(v) - W(v) \quad (1)$$

где U является потенциальной энергией деформации, а W – потенциалом внешних нагрузок.

Исходя из принципа возможных работ можно сделать вывод о том, что при соблюдении состояния равновесия уровень полной потенциальной энергии системы является минимальным. Следовательно, для того, чтобы найти решения выражение (1) необходимо свести к минимуму на множестве все функции v , которые удовлетворяют заданному граничному условию. Искомым полем перемещений w считается та функция, которая образует минимум, последнюю и требуется найти.

Точное значение минимума функции $\Pi(v)$ эквивалентно решению дифференциального уравнения из теории упругости и представляет собой бесконечномерную задачу. Идея сеточных методов заключается в том, чтобы заменить бесконечномерную задачи n -мерной, т.е. перейти к дискретной модели.



Для каждого элемента обозначаются свои собственные полиномы, но их подбирают таким образом, чтобы выполнялись некоторые условия относительно функций $\varphi_{k,i}$ при осуществлении перехода через границы элементов. Если мы говорим о классической реализации такого метода, в нём при переходе через границы элементов конечные элементы функции должны быть и остаться непрерывными.

Этот алгоритм в основе берет идею метода Релея – Ритца. Идея которого заключается в следующем: вместо бесконечномерной задачи берем n – мерную и вводятся n пробных функций $v = V_1, v = V_2, \dots, v = V_n$. В классе всевозможных линейных комбинаций $V = y_1 V_1 + \dots + y_n V_n$ вычисляется такая частная комбинация $w \sim u V + \dots + u_n V_n$, которая минимизирует $\Pi(V)$.

Задача состоит в том, чтобы минимизацию выражения (1) по всем функциям v заменяем минимизацией по подпространству V . Вместо функции w отыскивается $w \sim$. Надеемся, что функции эти будут близки.

Коэффициенты (параметры Ритца) $\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ – называются узловыми значениями функции $w \sim$. Близость приближенного решения к точному решению будет зависеть от вида функций V_i и от подробного разбиения заданной области на конечные элементы.

При этом функция V_i выбрана заранее, а неизвестными коэффициентами есть u_i .

Рассмотрим кусочно-линейную функцию и ее комбинации в случае с одномерной задачей. Самыми простыми и наиболее широко используемыми являются кусочно-линейные функции. На рисунке 2а изображена функция V_i , относящаяся к i – ому узлу модели. Данная функция сшивается в i -ом узле с функций формы элементов $k + 1$ и k , которые примыкают к этому узлу, и принимают значение равное единицы в i -ом узле и значение ноль – в других узлах. Для обеспечения данного условия необходимо, чтобы функции формы элементов k и $k + 1$ – $\varphi_{k,i}$ и $\varphi_{k+1,i}$ принимали значение 1 в узле i элемента и 0 – в остальных узлах. На рисунке 2б можно наблюдать одну из потенциально возможных линейных комбинаций функций V_i : $V = u_1 V_1 + \dots + u_5 V_5$.

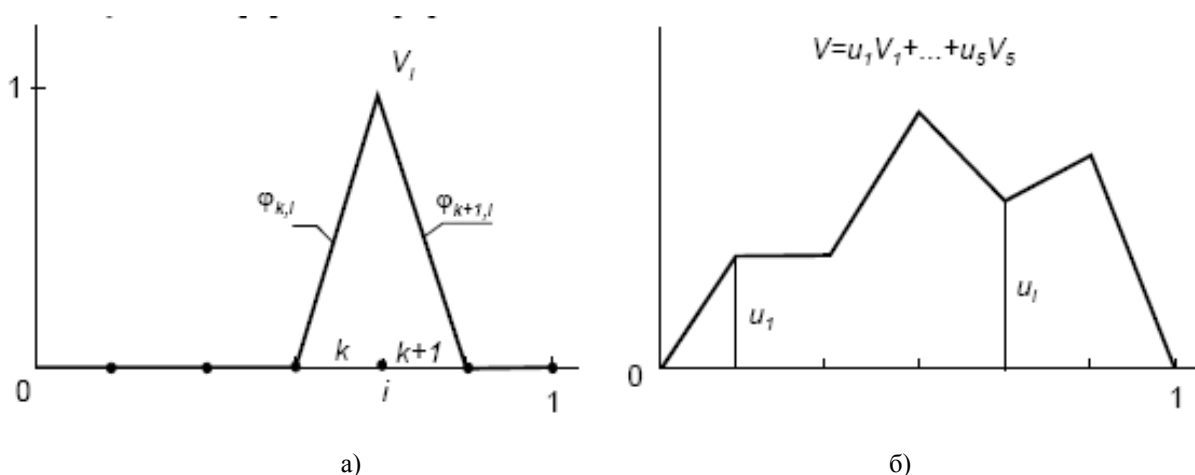


Рис. 2. Функции V_i (а) и их линейные комбинации для одномерной задачи (б)

Запишем приближенное решение в виде:

$$\tilde{w} = \sum_{i=1}^n u_i V_i \quad (2)$$

Запишем условие минимума функции $\Pi(V)$ в виде:

$$\frac{d}{du_i} \{\Pi(\tilde{w})\} = 0; i = 1, \dots, n \quad (3)$$

Процесс вычисления энергии деформации в функционале происходит при помощи интегрирования произведения функции напряжения и деформации по объему. После определения значений деформации и напряжения. Пусть L – это оператор дифференцирования, переводящий перемещения в деформацию, тогда для деформаций символически можно записать:

$$\varepsilon = L \left\{ \sum_i u_i V_i \right\} \quad (4)$$

а для напряжений:

$$\sigma = S \left\{ \sum_j u_j V_j \right\} \quad (5)$$

- где оператор S можно найти добавлением оператора L определенной матрицей Гука. Индексы j и i изменяются в одинаковых пределах, Суммирование производится независимо, аналогично вычислению произведению матриц. Для энергии деформации получим выражение в виде:

$$U = \frac{1}{2} \int \sum_i u_i L V_i \sum_j u_j L V_j \quad (6)$$

где интеграл определен на всей заданной области. Обозначая

$$K_{ij} = \int (L V_i)(S V_j); \quad \{u\} = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}^t \quad (7)$$

энергия деформации в матричной форме будет иметь вид:

$$U = \frac{1}{2} \{u\}^t [K] \{u\} \quad (8)$$

где K_{ij} – элемент матрицы K . Потенциал внешних нагрузок выглядит следующим образом:

$$W = \int r \sum_i u_i V_i \quad (9)$$

где r включает поверхностные, объемные, сосредоточенные нагрузки. Обозначим:

$$R = \int r V_i, \{R\} = (R_1, R_2, \dots, R_n)^t \quad (10)$$

В матричной форме получим:

$$W = \{u\}^t \{R\} \quad (11)$$

Потенциальную энергию системы в матричной форме запишем в виде:

$$\Pi = \frac{1}{2} \{u\}^t [K] \{u\} - \{u\}^t \{R\} \quad (12)$$

Полная потенциальная энергия должна быть равна нулю:

$$d\Pi = d\{u\} ([K] \{u\} - \{R\}) = 0 \quad (13)$$

Из этого условия получаем n уравнений, по которым определяем неизвестные параметры Ритца:

$$[K] \{u\} = \{R\} \quad (14)$$

Матрицей неизвестных коэффициентов есть глобальная матрица жесткости конструкции $[K]$. Неизвестным вектором есть вектор перемещения $\{u\}$. В правой части уравнения находится вектор нагрузки $\{R\}$. Итог конечно – элементного моделирования есть формирование системы уравнений (14).

Матрица жесткости $[K]$ вычисляется в два этапа. В первую очередь происходит вычисление матрицы жесткости каждого конечного элемента, после чего матрицы элементов $[K_e]$ объединяю, суммируя те коэффициенты K_{ij}^e у которых индексы совпадают. Данный способ имеет отличия по сравнению с выводом уравнения (1.2) только в алгоритмическом отношении.

Матрица жесткости элемента k $[K_e]$ дает связь обобщенного вектора перемещения узла k $\{u_e\}$ с силами в этих узлах, которые приложены по направлению обобщенных перемещений $\{r_e\}$:

$$[K^e]_k \{u^e\}_k = \{r^e\}_k \quad (15)$$

Формально уравнение система (14) получается при помощи суммирования уравнений (15). Коэффициенты матрицы жесткости определяют, используя параметры геометрии элемента, свойства среды и функции формы. Компоненты вектора k , согласно условиям равновесия, по направлениям j – го узла элемента, определяются как сумма реакций по этому узлу со стороны других элементов а также внешних нагрузок в рассматриваемом узле.

Вид функций формы элемента для пользователя программы определяется при помощи выбора типа используемого элемента. Поле перемещения внутри каждого элемента определяется однозначно его функцией формы и значением перемещения в узлах. Решение системы (14) возможно при вычислении напряжения и деформации на всех элементах.

Алгоритм решения статической задачи

На первом этапе пользователь должен задать необходимые данные для того, чтобы построить глобальную матрицу жесткости и вектор нагрузок.

Глобальная матрица конструкции строится с помощью объединения матриц жесткости конечных элементов. Для вычисления матрицы жесткости элемента, т.е. интегрирования потенциальной энергии деформации на элементе, необходимо задать его геометрию и свойства материала. Геометрия элемента определяется координатами узлов, принадлежащих элементу [14].

На практике часто используются схематичные типы элементов, для которых необходимы дополнительные геометрические параметры. Например, для одномерных элементов, геометрически представляющих собой линию, необходимый дополнительный геометрический параметр – площадь поперечного сечения стержня.

Данные, описывающие элемент, могут быть определены в следующей форме:

- Координаты узлов всех элемента;
- Номера узлов, в которых элемент связан с другими элементами;
- Дополнительные геометрические параметры, которыми обладает элемент элемента;
- Свойства материала.

Как правило, глобальная матрица жесткости конструкции является вырожденной (полуположительно определенной). В этом случае уравнение (14) не имеет единственного решения. Единственность решения обеспечивается наложением связей (закреплений), которые должны обеспечить, во-первых, положительную определенность для глобальной матрицы жесткости и, во-вторых, граничные условия, адекватные реальным связям.

Для построения вектора узловых нагрузок могут быть использованы сосредоточенные нагрузки, заданные в узлах, и нагрузки, распределенные по поверхности и по объему элементов.

Таким образом, расчетная модель содержит данные об узлах и элементах, кинематические связи (закрепления) и нагрузки.

На втором этапе вычислительная программа, используя данные о расчетной модели, выполняет следующие действия:

- вычисляет матрицы жесткости элементов и нагрузки на элементах;
- формирует глобальную матрицу жесткости $[K]$ и вектор внешних нагрузок $\{R\}$;
- накладывает заданные связи и проводит треугольное разложение глобальной матрицы жесткости в виде $[K] = [L][D][L]^t$, где $[L]$ – нижняя треугольная матрица, $[D]$ – диагональная матрица;
- решает систему уравнений $[L][D][L]^t\{u\} = \{R\}$, вычисляет вектор неизвестных перемещений $\{u\}$;
- вычисляет результаты (деформации, напряжения, усилия) на элементах.

Формирование глобальной матрицы и вычисление треугольного разложения можно совместить.

Этот очевидный способ решения называется фронтальным методом, и был предложен только в 1970 г. Сейчас фронтальный метод используется во многих программах, реализующих МКЭ, и в нем часто находят скрытые ресурсы для существенного повышения эффективности.

На втором этапе возможна ситуация, когда вычислительная программа не может получить какое-либо решение из-за ошибок в исходных данных. В этом случае приходится анализировать диагностические сообщения программы, вносить исправления в расчетную модель и повторять второй этап.

На третьем этапе полученные результаты подвергаются процедуре анализа.

В нашем случае получили следующий результат:

Информация о модели

Наименование модели: Корпус установки			
Активная конфигурация: По умолчанию <Как обработанный >			
Твердое тело			
Имя ссылки документа	Рассматривается как	Объемное свойство	Путь документа/Дата изменения
Вырез-Вытянуть3[1]	Твердое тело	Масса: 3.0908 lb Объем: 10.8706 in ³ Плотность: 0.2843 lb/ in ³ Масса: 3.0887 lbf	D:\Documents and Settings\BN\Рабочий стол\РАБОТА С СОЛИД\КОРПУС1 установки.SLDPRT Jul 21 10:56:49 2011

Свойство материала:

Ссылки на модель	Свойство		Компоненты
	Имя:	AISI 1010 Сталь, горяченкатанная полоса	Твердое тело 1 (Вырез-Вытянуть3[1]) (РАМА установки)
	Тип модели	Линейный Изотропный Упругий	
	Критерий прочности (по умолчанию)	Максимальное напряжение	
	Предел текучести	1.8 e + 8 N/ m ²	
	Предел прочности при растяжении	3.25 e + 8 N/ m ²	

Нагрузка и крепления:

Имя крепления:	Изображение крепления:	Данные крепления:
Зафиксированный-5		Объекты: 1 грани Тип: Зафиксированная геометрия
Зафиксированный-6		Объекты: 1 грани Тип: Зафиксированная геометрия
Имя нагрузки	Загрузить изображение	Загрузить данные
Сила-2		Объекты: 1 грани Тип: Приложить нормальную силу Значение: 2000 N

Информация о сетке

Тип сетки:	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение:	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки:	Выкл
Включить автоциклы сетки:	Выкл
Точка Якобиана:	4 Точки
Размер элемента:	6.1656 mm
Допуск:	0.3083 mm
Качество сетки:	Высокая

Информация о сетке – Подробности

Общее число узлов:	13996.0
Общее количество элементов:	6532.0
Максимальное соотношение сторон:	8.521
% элементов с соотношением сторон < 3:	98.20
% элементов с соотношением сторон > 10:	0.0
% искаженных элементов (Якобиан):	0.0
Время для завершения сетки (hh:mm:ss):	0:00:05
Наименование компьютера:	MYPEN

Результаты исследования для корпуса 1 (рис. 3)

Имя:	Тип:	Мин:	Макс:
Stress	VON: Напряжение Von Mises	5.91 e + 1 N/ mm ² (MPa) Узел: 11490	1.17 e + 7 N/ mm ² (MPa) Узел: 1003
Корпус1 установки-SimulationXpress Study-Напряжение-Stress			
Displacement	URES: Результирующее перемещение	1 e - 30 mm Узел: 35	3.16 e-3 mm Узел: 12282
Корпус1 установки-SimulationXpress Study-Перемещение-Displacement			

Вывод: Происходил процесс моделирования закрепления по тоцовому сечению.

Запас прочности для этого случая достаточен.

Результаты исследования для корпуса 2 (рис. 4)

Имя:	Тип:	Мин:	Макс:
Stress	VON: Напряжение Von Mises	1.29 e + 5 N/ mm ² (MPa) Узел: 11490	2.06 e + 8 N/ mm ² (MPa) Узел: 1003
Корпус1 установки-SimulationXpress Study-Напряжение-Stress			
Displacement	URES: Результирующее перемещение	1 e-30 mm Узел: 35	9.44 e-2 mm Узел: 12282
Корпус1 установки-SimulationXpress Study-Перемещение-Displacement			

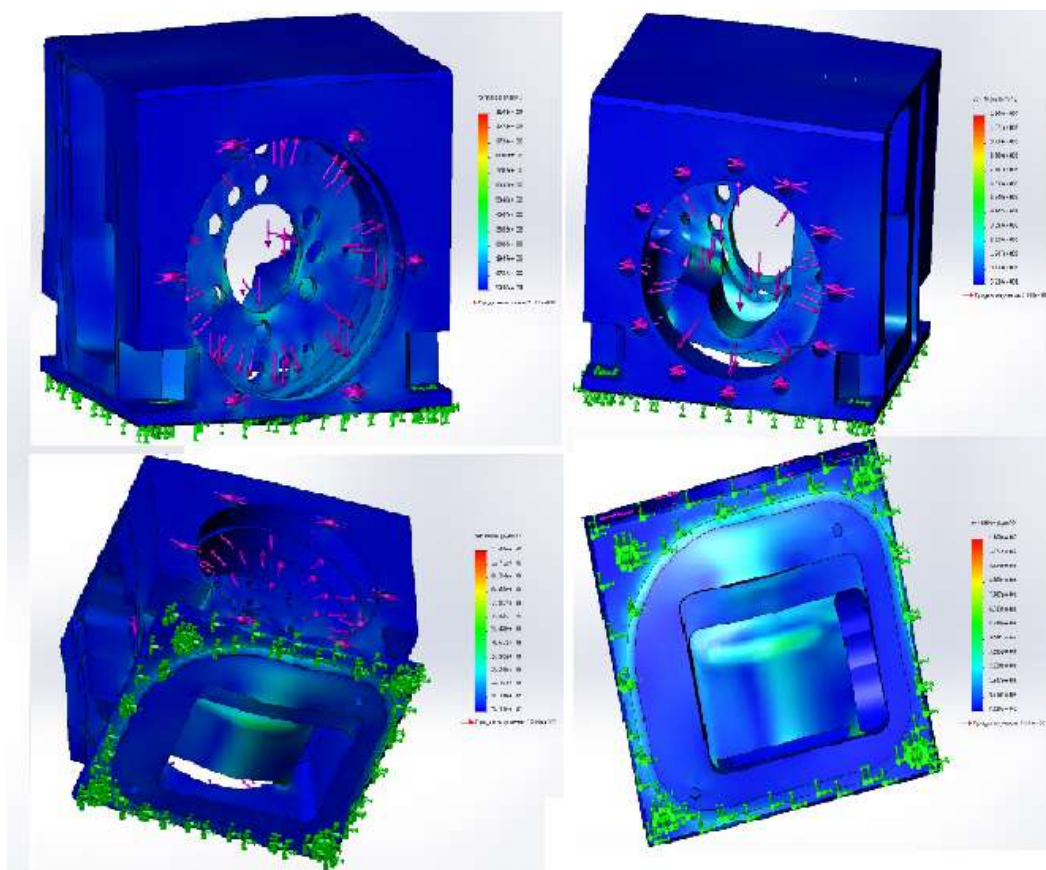


Рис. 3. Результаты расчета корпуса 1

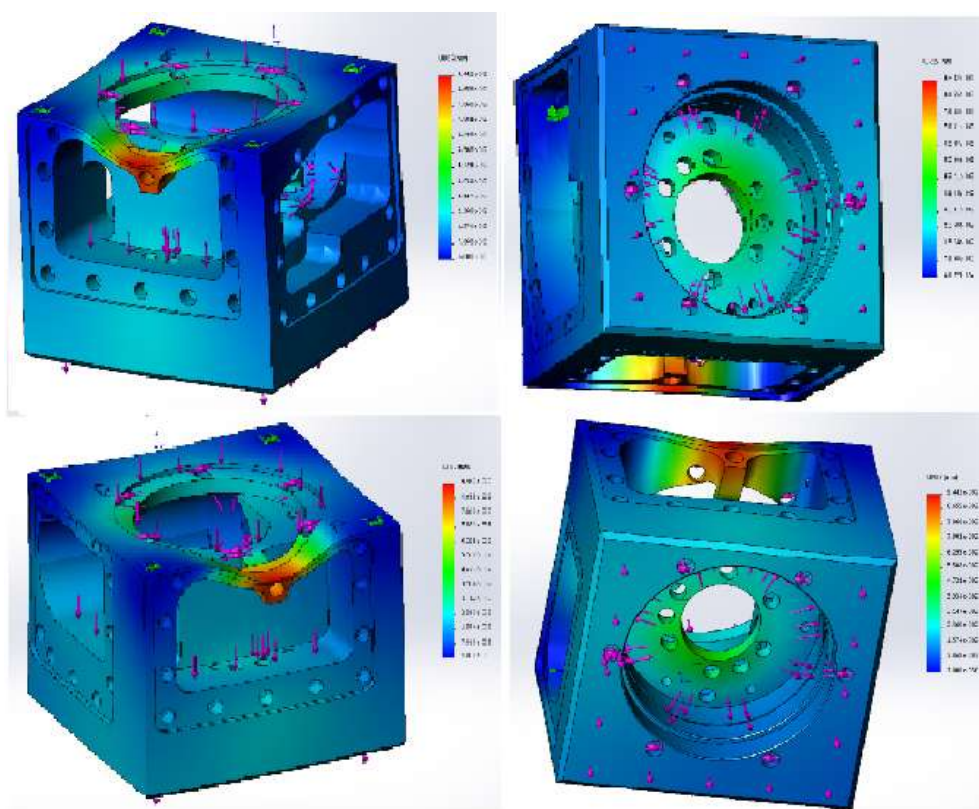


Рис. 4. Результаты расчета корпуса 2

Вывод: Происходил процесс моделирования закрепления по тоцовому сечению. Запас прочности для этого случая достаточен. В элементах крепления удалось достигнуть предела текучести, который равен $7,583 \cdot 10^7$ МПа.

Как видно из двух предложенных вариантов корпуса устройства, более предпочтителен вариант №1, поскольку вариант №2 обладает потенциалом разрушения точек крепления (рис. 5).

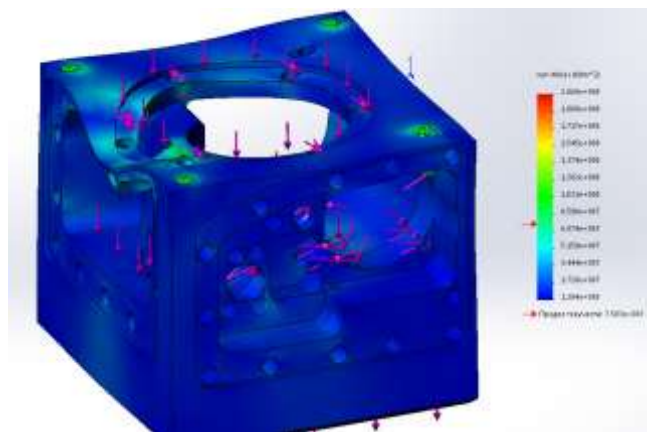


Рис. 5. Места возможного разрушения. Обозначены зеленым цветом (5 отверстий).

Список литературы

1. Александрова В.В. Компьютерное моделирование и симуляция трехмерных тел, фигур и сцен: учеб. пособие. СПб.: Анатолия, 2008. 131 с.
2. Александров В.В., Сарычев В.А. Цифровые программируемые технологии // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. Т. 8. № 11. С. 3 – 9.
3. Александров В.В., Александрова В.В., Зайцева А.А., Хурс С.П. Цифровая технология 3D-промышленного производства // Труды конф. «Региональная информатика (РИ-2010)». СПб.: СПОИСУ, 2011. С. 207–210.
4. Брехов О.М., Корнеев А.В., Кордовер К.А., Мухин Н.Ю., Орлова Е.А., Тузов И.В. Методика быстрого прототипирования аппаратно-программного комплекса на основе технологического базиса ПЛИС большой емкости и настраиваемых библиотек // Успехи современной радиоэлектроники. 2012. № 1. С. 91 – 96.
5. Городняя Л.В. Основы функционального программирования: учеб. пособие. М.: Интернет-Университет информационных технологий, 2004. 272 с.
6. Зленко М. Технологии быстрого прототипирования – послойный синтез физической копии на основе 3D – CAD – модели // CAD/ CAM/ CAE Observer. 2003. № 2 (11). С. 2 – 9.
7. Можаров М.С., Коткин С.Д. О развитии содержательной линии «Моделирование и формализация» в школьном курсе «Информатика и ИКТ» // Информатика и образование. 2010. № 4. С. 95 – 99.

8. Робототехника и гибкие автоматизированные производства: учеб. пособие. В 9 кн. Кн. 5. Моделирование робототехнических систем и гибких автоматизированных производств / С.В. Пантюшин, В.М. Назаретков, О.А.Тягунов и др.; под ред. И.М. Макарова. М.: Высш. шк., 1986. 175 с.
9. Чикурова Е.И. Особенности когнитивного стиля программистов // Психология XXI века: Материалы Междунар. науч.-практич. конф. молодых ученых. СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 2011. С.420-421.
10. Persson A.S.K., Andersson M., Oden A., Sandborgh-Englund G. Computer aided analysis of digitized dental stone replicas by dental CAD/CAM technology // Dental Materials. 2008. Vol. 24. № 8. P. 1123 – 1130. DOI: [10.1016/j.dental.2008.01.008](https://doi.org/10.1016/j.dental.2008.01.008)
11. Designmation: Making of Avatar – Use of Autodesk MotionBuilder // <http://designmation.blogspot.ru/2010/02/making-of-avatar-use-of-autodesk.html>
12. Лопота А.В., Юревич Е.И. Этапы и перспективы развития модульного принципа построения робототехнических систем // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2013. № 1. С. 98 – 103.
13. Экстремальная робототехника. Нано-, микро- и макророботы (ЭР–2009): Материалы XX междунар. науч.-техн. конф. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. 390 с.
14. Рычков С.П. Моделирование конструкций в среде MSC.visualNastran для Windows: М.: НТ-Пресс, 2004. 552 с.

Computer Simulation of Robotic Device Components in 3D Printer Manufacturing

M.A. Kiselev^{1,*}

m.kiselev@rtc.ru

¹Russian State Scientific Center for Robotics and Technical
Cybernetics, Saint Petersburg, Russia

Keywords: modeling, 3D printer, components of robotics, cognitive programming, casework, 3D prototyping, 3D technology

The paper considers a relevant problem "Computer simulation of robotic device components in manufacturing on a 3D printer" and highlights the problem of computer simulation based on the cognitive programming technology of robotic device components. The paper subject is urgent because computer simulation of force-torque and accuracy characteristics of robot components in terms of their manufacturing properties and conditions from polymeric and metallic materials is of paramount importance for programming and manufacturing on the 3D printers. Two types of additive manufacturing technologies were used:

1. FDM (Fused deposition modeling) - layered growth of products from molten plastic strands;
2. SLM (Selective laser melting) - selective laser sintering of metal powders, which, in turn, create:
 - conditions for reducing the use of expensive equipment;
 - reducing weight and increasing strength through optimization of the lattice structures when using a bionic design;
 - a capability to implement mathematical modeling of individual components of robotic and other devices in terms of appropriate characteristics;
 - a 3D printing capability to create unique items, which cannot be made by other known methods.

The paper aim was to confirm the possibility of ensuring the strength and accuracy characteristics of cases when printing from polymeric and metallic materials on a 3D printer. The investigation emphasis is on mathematical modeling based on the cognitive programming technology using the additive technologies in their studies since it is, generally, impossible to make the obtained optimized structures on the modern CNC machines.

The latter allows us to create a program code to be clear to other developers without cost, additional time for development, adaptation and implementation.

Year by year Russian companies increasingly use a 3D-print system in mechanical engineering, aerospace industry, and for scientific purposes. Machines for the additive production,

well integrated in the production cycle, allow not only to reduce costs and save time, but also to begin performing more complex tasks.

The ability for quick understanding the program code written by other users and adaptation to other projects creates the preconditions for a good economic effect, strength through the use of already existing projects or models of standard forms. This is possible because, based on the data on three-dimensional detail layout scanning, the 3D technology allows us to have a digital copy to be adapted for further implementation on the 3D-printer in any potential project, taking into account the specification of each project.

Analysis of these problems gives impetus for further research in the field of mechanical engineering and robotics technology.

Conclusion: A process of simulation and bionic design of the case has been done; fixation was across frontal cross-section. Margin of safety for the case (option 1) made from metallic powder is sufficient. As seen from the two proposed options of the device case the first option is more preferable since there is a collapse potential in fixing points of the option 2 made from the ABC plastic.

References

1. Alexandrova V.V. *Komp'yuternoe modelirovanie i simulatsiia trekhmernykh tel, figur i stsen* [Computer modeling and simulation of three-dimensional bodies, figures and scenes]. St.Petersburg: Anatoliia Publ., 2008.131 p.
2. Alexandrov V.V., Sarychev V.A. Digital programmed technologies. *Informatsionno-izmeritel'nye i upravliayuschie sistemy* [Information-measuring and Control Systems], 2010, vol. 8, no.11, pp. 3-9 (in Russ.).
3. Alexandrov V.V., Alexandrova V.V., Zaytseva A.A., Khurs S.P. Tsifrovaia tekhnologiya 3D-promyshlennogo proizvodstva [Digital technology of 3D industrial manufacturing]. *Konferentsiia «Regional'naia informatika (RI-2010)»*. *Trudy* [«Regional Informatics (RI-2010)»: Proc. of the St.Petersburg interregional conf.]. St.Petersburg: SPOISU, 2011, pp.207-210.
4. Brekhov O.M., Korneenkova A.V., Kordover K.A., Mukhin N.Yu., Orlova E.A., Tuzov I.V. Methodology of automated quality control for prototyping of the hardware-software devices on the basis of a large capacity FPGA. *Uspekhi sovremennoj radioelektroniki* [Achievements of Modern Radioelectronics], 2012, no.1, pp.91-96 (in Russ.).
5. Gorodniaia L.V. *Osnovy funktsionalnogo programmirovaniia* [Basics of functional programming]. Moscow: Internet Univ. of Information Technologies Publ., 2004. 272 p.
6. Zlenko M. Rapid prototyping technology – level synthesis of physical copies based on 3D CAD model. *CAD-CAM-CAE Observer* [CAD-CAM-CAE Observer], 2003, no.2(11), pp. 2-9 (in Russ.).

7. Mozharov M.S., Kotkin S.D. On the development of meaningful line modeling and formalization in the school course of Informatics. *Informatika i obrazovanie* [Informatics and Education], 2010, no.4, pp. 95-99 (in Russ.).
8. *Robototekhnika i gibkie avtomatizirovannye proizvodstva. Kniga 5. Modelirovanie robototekhnicheskikh system i gibkikh avtomatizirovannykh proizvodstv* [Robotics and flexible automated production. 5. Simulation of robotic systems and flexible automated production]. Moscow: Vysshaya Shkola Publ., 1986. 175 p.
9. Chikurova E.I. Osobennosti kognitivnogo stilia programmistov [Features of cognitive style programmers]. *Psikhologiya XXI veka: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh* [The psychology of the 21st century: Materials of scientific-practical conference of young scientists]. St. Petersburg, 2011, pp. 420-421.
10. Persson A.S.K., Andersson M., Oden A., Sandborgh-Englund G. Computer aided analysis of digitized dental stone replicas by dental CAD/CAM technology. *Dental Materials*, 2008, vol. 24, no. 8, pp. 1123 – 1130. DOI: [10.1016/j.dental.2008.01.008](https://doi.org/10.1016/j.dental.2008.01.008)
11. Designmation: Making of Avatar – Use of Autodesk MotionBuilder. Available at: <http://designmation.blogspot.ru/2010/02/making-of-avatar-use-of-autodesk.html>
12. Lopota A.V., Yurevich E.I. Stages and development prospects of robotic systems design modular principle. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta* [St. Petersburg State Polytechnical Journal], 2013, no.1, pp. 98-103.
13. *Ekstremal'naia robototekhnika. Nano-, Mikro-, i Makroroboty. ER-2009* [Extreme robotics. Nano-, Micro-, and Macrorobots. ER-2009]. Taganrog: Taganrog Technological Institute Publ., 2009. 390 p.
14. Rychkov S.P. *Modelirovanie konstruksij v srede MSCvisualNastran dlia Windows* [Modeling of structures in MSCvisualNastran for Windows]. Moscow: NT Press, 2004. 552 p.