

УДК 004.051

СИТУАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ПО АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Колесников Андрей Александрович,

канд. техн. наук, доцент кафедры управления, информатики и общенаучных дисциплин

e-mail: indra.ufa@gmail.com,

Академия ВЭГУ, г. Уфа; <http://www.vegu.ru/>

Рассматривается задача автоматизации настроек 3D-печати изделий по FDM технологии, на основе подхода ситуационного управления. Предлагается аддитивный технологический процесс рассматривать как последовательность ситуаций. Анализ качества изделий выполняется путем декомпозиции основных ситуаций до простых ситуаций, имеющих одношаговые решения. Типовые дефекты 3D-печати сохраняются в базе знаний, причем в базе хранятся также параметры нестационарного процесса формирования изделия. Рекомендации по улучшению качества изделий формируются как на основе базы знаний, так и числового моделирования процессов нестационарного течения полимера в экструдере и моделирования распределения температуры в зоне 3D-печати.

Ключевые слова: аддитивные технологии, ситуационное управление, 3D-печать

DOI 10.21777/2500-2112-2017-4-84-92

Введение

3D-принтер – это устройство, позволяющее получить физический объект из компьютерной модели. Технология 3D-печати, это технология аддитивного синтеза, которая позволяет строить функциональные прототипы и конечные изделия.

Известно несколько основных технологий 3D-печати:

- метод послойного наплавления (нанесения) – Fused Deposition Modeling, FDM – объект формируется путем послойной укладки расплавленной нити из плавкого рабочего материала. Может использоваться также при формировании изделия послойным нанесением пасты с тексионовой текучестью, например керамического состава;

- лазерная стереолитография (Laser Stereolithography, SLA) – объект формируется из специального жидкого фотополимера, затвердевающего под действием ультрафиолетового излучения;

- селективное лазерное спекание (Selective Laser Sintering, SLS) – объект формируется из плавкого порошкового материала (пластик, металл) путем его плавления под действием лазерного излучения.

Наибольшее распространение получила технология FDM. Технология FDM – это единственный метод 3D-печати, использующий термопластики промышленного уровня, те же что и традиционные методы литья, благодаря чему, полученные изделия, по механическим свойствам сопоставимы к деталям, полученным традиционными методами, они могут выдерживать высокую температуру, воздействие вредных химических веществ, стерилизацию и интенсивные механические нагрузки. Однако производство изделий по технологии FDM сталкивается с рядом задач по обеспечению качества продукции и производительности оборудования.

1 Значение аддитивных технологий для современного производства

Технологический процесс аддитивного синтеза изделия методом FDM определяется рядом нестационарных физических процессов. Это в первую очередь нестационарные градиенты температуры в объеме изделия в процессе его изготовления, которые в ряде случаев ведут к искажению геометрии готового изделия, так называемому короблению. Качество изделий зависит от правильности юстировки механизмов оборудования и оптимальности режимов осаждения нити. Производительность и качество изделий зависят от толщины наносимого слоя. Для обеспечения производительности ее нужно увеличивать, а для повышения качества – уменьшать. Механическая прочность изделия зависит от направления расположения нитей материала и ориентации слоев. Формирование 3D-модели не всегда учитывает распределение механических нагрузок, которым подвергаться изделие при эксплуатации [3].

В современных условиях наблюдается большой выход брака. Изделия в процессе формирования деформируются и не соответствуют исходной модели, либо не соответствуют техническим условиям их механические свойства. Как правило, необходимого качества удается добиться при повторной печати с корректировкой параметров, количество неудачных попыток обычно составляет от 1 до 5. Актуальной является задача систематизации принимаемых решений и создание базы знаний по настройке параметров формирования изделий.

Функциональная модель формирования изделия на 3D-принтере изображена на рисунке 1.

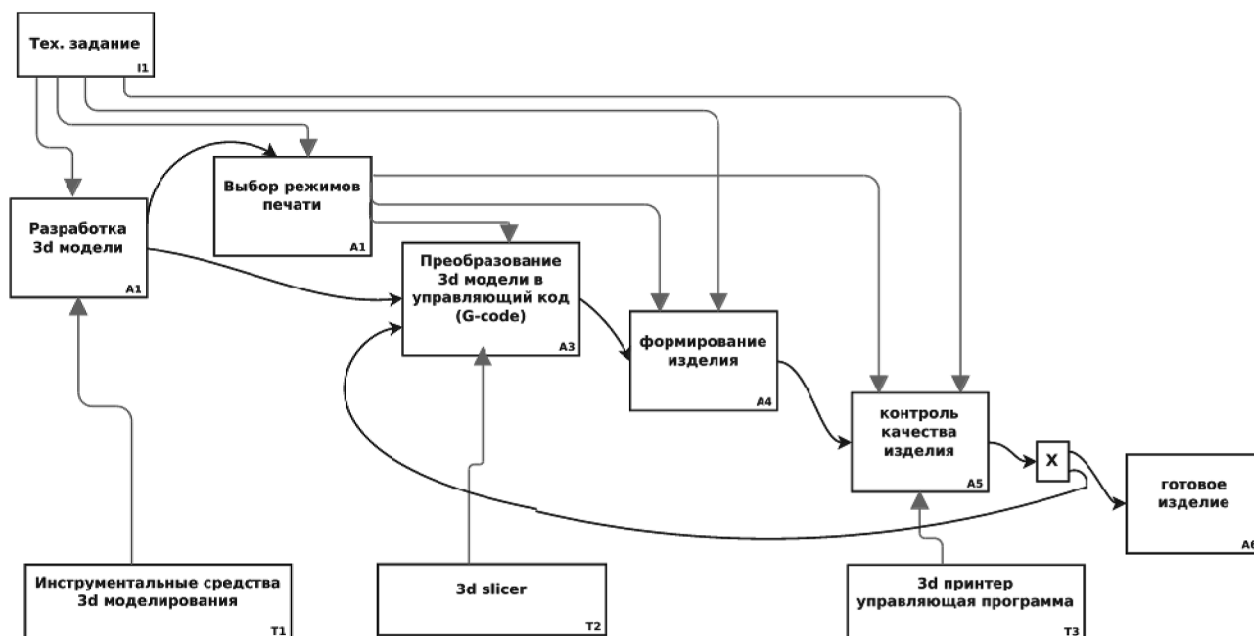


Рисунок 1 – Формирование изделия на 3D-принтере

Для обеспечения качества формирования изделий предлагается использовать подход ситуационного управления. Ситуационное управление – это метод управления сложными техническими и организационными системами, основанный на теории искусственного интеллекта, представления знаний об объекте управления и способах управления им на уровне логико-лингвистических моделей, использования обучения и обобщения в качестве основных процедур управления по текущим ситуациям, использования дедуктивных систем для построения многошаговых решений.

2 Ситуационная модель управления качеством аддитивного производства

Управляющее воздействие системы, это принимаемые решения для обеспечения качества изделий и повышения производительности процесса. Алгоритм ситуационного управления состоит из следующих шагов [2]:

1 шаг алгоритма ситуационного управления – распознавание ситуации и декомпозиция ситуаций на последовательности простых ситуаций, имеющие одношаговые решения. Исходные данные являются гетерогенными (неоднородными) и различаются по синтаксической и семантической форме представления. На этом этапе все входные данные преобразуются в единую унифицированную форму представления. Ситуационная модель формирования 3D-модели по технологии FDM включает следующие входные параметры:

- 1 Вектор входных параметров печати, наиболее значимыми являются:
 - тип пластика [PLA, ABS, полиамид, полифенилсульфон];
 - скорость печати;
 - температура экструдера;
 - температура рабочего стола;
 - температура среды в зоне печати;
 - толщина внешней стенки формируемого изделия;
 - коэффициент заполнения внутреннего объема изделия;

- диаметр сопла экструдера;
 - длина зоны плавления экструдера;
 - тип покрытия рабочего стола [стекло, алюминий, капрон, прехлорвинил];
 - время печати слоя;
 - класс кинематической схемы принтера [«перемещение экструдера по x, y, изделия по z», «перемещение экструдера по x, z, изделия по y», «перемещение экструдера по x, y, z, изделие неподвижно», «перемещение изделия по x, y, z, экструдер неподвижен»];
 - программное обеспечение формирования управляющего кода (G-code);
 - встроенное программное обеспечение принтера.
- 2 Возможные визуально контролируемые дефекты печати.
- 3 Величина отклонений размеров изделия от заданных.
- 4 Результаты испытаний механических свойств изделия.

Распознаванием ситуаций на основе нечеткого логического вывода (fuzzy logic inference) является аппроксимация зависимости $s = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ с помощью нечеткой базы знаний и операций над нечеткими множествами. Типовые ситуации приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Ситуации системы управления процессом 3D-печати

	Наблюдаемый дефект изделия	Параметры ситуации	Принимаемое решение
1	Деформация изделия, изгиб слоем по поверхности сферы, выпуклой стороной вниз, приводящий к отслоению изделия от печатного стола	Деформация возникает постепенно по мере синтеза изделия	1) использовать пластик или композит с меньшим температурным коэффициентом расширения: рекомендуемый материал пластик PLA, композитный материал LAYWOO-D3 (смесь из 40 процентов переработанных волокон древесины и 60 процентов полимерного связующего); 2) использовать подогрев изделия в течение всего процесса синтеза. Примечание: Решение возможно только для моделей 3D-принтеров оборудованных подогревом рабочей области. Рабочая температура механизмов не должна превышать предельно допустимые; 3) изменить структуру внешней оболочки и внутреннего объема изделия с целью выравнивания толщины стенки изделия. Уменьшить степень заполнения внутреннего объема пластиком; 4) использовать ячеистую структуру внутреннего объема с небольшой степенью заполнения и комбинировать с заполнением полостей ячеек фотополимерным пластиком с его последующим отверждением (технологией Polyjet); 5) увеличить адгезию пластика к поверхности печатного столика. Использовать подогрев столика. Использовать покрытие печатного стола с температурой кристаллизации ниже температуры в печатной камере принтера
2	Отслоение изделия от печатного стола при его подогреве	Температура поверхности печатного стола превышает температуру перехода пластика в состояние вязкой текучести. Либо температура поверхности печатного стола превышает температуру перехода покрытия стола в состояние вязкой текучести	Уменьшить температуру подогрева печатного стола или изменить состав его покрытия
3	Деформация вследствие накопления внутренних напряжений	Деформация наблюдается в нижних слоях изделия	1) использовать термостатирование всего объема принтера; 2) использовать покрытие печатного стола с температурой кристаллизации ниже температуры в печатной камере принтера одновременно с уменьшением температуры подогрева печатного стола

4	Расслоение изделия. Слои изделия недостаточно склеены между собой	Недостаточная температура экструдера	Отрегулировать температуру экструдера
		Неправильно калиброван шаг по оси Z, либо неравномерная подача по оси Z	Произвести юстировку механизма 3D-принтера
5	Деформация изделия, неравномерность толщины слоев	Деформирован каждый слой уже в процессе его нанесения	Произвести юстировку механизма 3D-принтера
6	Недостаточная механическая прочность. Разрыв слоев изделия	Неправильная ориентация слоев изделия	1) произвести юстировку механизма 3D-принтера; 2) произвести настройку рабочей температуры процесса; 3) произвести реинжиниринг 3D-модели
7	Невозможность отделения технологических элементов изделия		1) использовать пластик другой марки для печати подложки и технологических элементов. Рекомендательный материал PVA (поливинилалкоголь); 2) использовать водорастворимый пластик марки «поливинилалкоголь» (PVOH) для печати подложки и технологических элементов, после печати изделия, растворять технологические элементы водой температурой от 15 до 80 градусов. Примечания: а) необходимо применять воду, очищенную от солей жесткости с использованием фильтра обратного осмоса; б) для обеспечения отделения подложки от технологического столика смазать столик водным раствором поливинилалкоголя (клея ПВА) и высушить
8	Изделие деформировано, контур нечетки, деформация продолжается после завершения печати, в случае резко выраженного состояния, изделие приобретает высоту меньше заданной	Температура формируемого изделия превышает температуру перехода пластика в пластичное состояние	1) использовать принудительное охлаждение изделия; 2) задать паузы между нанесением слоев; 3) формировать одновременно несколько изделий
9	Неравномерность толщины наносимого слоя	Загрязнение экструдера	1) очищать материал перед его подачей в экструдер; 2) установить фильтр очистки между устройством подачи материала и экструдером
		Износ или неточность регулировки линейных подшипников механизма позиционирования, приводящие к люфтам в механизме	
10	Нарушение механических свойств пластика. Хрупкость изделия	Старение пластика вследствие превышения температуры	1) уменьшить температуру экструдера одновременно с уменьшением скорости печати. При недостаточной пластичности наносимой нити, использовать экструдер с большей длиной зоны плавления; 2) исключить использование принудительного охлаждения формируемого изделия вентилятором. При малых геометрических размерах изделия, использовать паузы после печати каждого слоя; 3) использовать композитный материал; 4) использовать пластик с повышенным содержанием пластификатора

Пусть $\mu^{ip}(x_i)$ – функция принадлежности входа x_i нечеткому терму a_i^{jp} , $i=1, n, j=1, m, p=1, k_j$, т.е.:

$$a_i^{jp} = \int_{x_i} \mu^{ip}(x_i) \circ x_j,$$

где $\mu^{ip}(x_i)$ – функция принадлежности выхода у нечеткому терму:

$$d_j = \int_y \mu^{dj}(y) \circ y.$$

Нечеткое множество \mathfrak{Z} , соответствующее входному вектору x^* , определяется следующим образом:

$$\check{s} = \bigcup_{j=1,m} \int_y^{y'} \min \left(\left(\mu^{d_i}(x^*), \mu^{d_j}(y) \right) \circ y \right),$$

где \cup – операция объединения нечетких множеств.

Четкое значение выхода s , соответствующее входному вектору x^* , определяется в результате дефаззификации нечеткого \check{s} .

Строится гибридный алгоритм, сочетающий свойства нечеткой логики, радиальных нейронных сетей [1] и методов сглаживающей аппроксимации функций с оптимизацией информационной точности.

В соответствии с принципами нечеткой логики значения входных интервалов x_i фаззифицируются в первом слое нейронной сети. На втором слое вычисляется гауссова функция $\Psi_j(x)$ по формуле:

$$\Psi_j(\mu_A(x_j)) = \exp \left[-(\mu_A(x) - c)^2 / \sigma^2 \right].$$

Третий слой отвечает за построение аппроксимирующей функции.

В этой схеме гибридной сети наиболее ресурсоемкой процедурой является вычисление значений функционала $\Psi_j(\mu_A(x_j))$ на каждом шаге работы алгоритма. Для построения информационной модели нечеткого логического вывода по распознаванию ситуаций в системе ситуационного управления на входы второго слоя поступают непосредственно значения интервалов $[x_1', x_2']_i$ (рисунок 2) и в функции узлов второго слоя дополнительно вводится вычисление нечеткого интеграла:

$$s = \left(\int_{X_1}^{X_2} \Psi_i(x) \circ x \right) / (x'_2 - x'_1),$$

где $x = [x_1', x_2']$ – нижняя и верхняя границы интервала x .

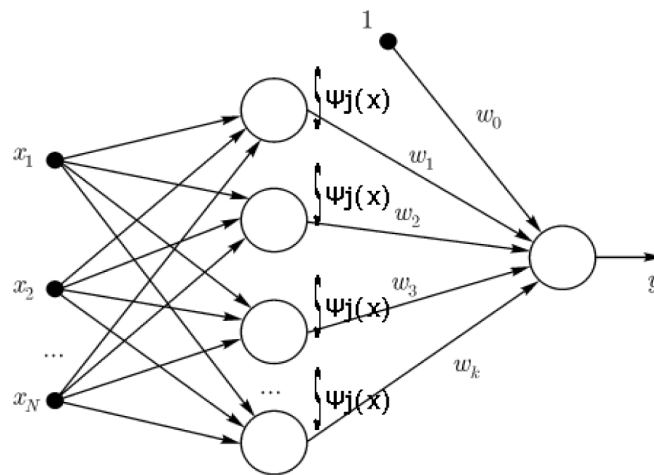


Рисунок 2 – Структура гибридной нечеткой сети распознавания ситуаций

Указанная функциональная схема позволяет реализовать гибридную нечеткую сеть для распознавания ситуаций. Функциональная схема полученной сети отличается от радиальной нейронной сети тем, что на входы поступают значения множества интервалов, а не множества фаззифицированных входных переменных.

Следует подчеркнуть, что предложенная методика основана на формализации в форме нечетких чисел не только лингвистических, но и числовых данных в соответствии с принципами «мягких вычислений».

Второй шаг алгоритма ситуационного управления – интерпретация данных в контексте текущей модели формирования изделия и принятие управляющего воздействия по адаптации режимов работы оборудования.

Каждому классу ситуаций ставятся в соответствие последовательность технологических операций. Для построения алгоритма выбора управляющего воздействия в системах ситуационного управления, как известно, используется два подхода:

1 Выбор управляющего воздействия по состояниям – строится пространство состояний объекта управления и дерево возможных переходов. Задача выбора решения сводится к выбору оптимального пути в дереве возможных переходов при выполнении всего множества ограничений для перевода объекта управления из текущего состояния в заданное.

2 Выбор управляющего воздействия по подзадачам. В этом случае строится график технологических процессов, каждая дуга которого характеризуется весовой функцией затрат материальных ресурсов и времени выполнения.

Результатом любого подхода будет алгоритм, генерирующий последовательность технологических операций U и векторов их параметров Y_i . Для нестационарной системы дополнительно возникает задача преобразования управляющего воздействия на целевую систему в соответствии с текущими значениями параметров системы P . Предположим, текущая ситуация S_i в базе знаний прецедентов представлена вектором параметров системы P_i , соответствующее управляющее воздействие – это множество производственных операций U_i и векторов их параметров Y_i . Но в реальной системе управления та же ситуация S_i возникла при значениях параметров системы $P_i + \Delta P$.

Предлагается подход адаптации управляющего воздействия в текущей ситуации на основе оптимизации динамической модели процессов формирования изделий на 3D-принтере. Для решения задачи используется математическое моделирование процессов переработки полимеров и композитов. Рассмотрим основные этапы моделирования.

1 Процессы, связанные с нагревом и охлаждением полимерных материалов и с их деформацией.

Передача тепла от более нагретого к менее нагретому материалу осуществляется за счет теплопроводности, за счет **конвекции** при омывании твердого тела потоком газа, при охлаждении или нагреве полимера после экструзии в рабочей зоне принтера или за счет **излучения** без непосредственного контакта, при нагреве термостабилизации с применением инфракрасного нагревателя. Переработка полимеров осложняется процессами выделения или поглощения тепла при изменении фазового состава полимера – *плавлении, кристаллизации*, при изменении его химического состава или при интенсивном переходе механической энергии деформирования в тепловую. Кроме этого возможно изменение теплофизических свойств полимерного материала – теплопроводности и теплоемкости, при изменении его температуры или фазового состояния. Одной из основных задач теплопроводности является установление распределения температуры внутри тела – *температурного поля*:

$$T = f(x, y, z, t),$$

где x, y, z – пространственные координаты заданной точки;

t – время.

При формировании изделия на 3D-принтере температура внутри изделия изменяется по мере формирования изделия, то есть процесс теплопередачи является *нестационарным*. Изменение температурного поля при формировании полимерных изделий методом 3D-печати описывается дифференциальным уравнением в частных производных:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right),$$

где a – коэффициент температуропроводности материала, определяющийся отношением:

$$a = \lambda / c\rho,$$

где λ – теплопроводность (Вт/м.⁰К);

c – теплоемкость (Дж/кг.⁰К);

ρ – плотность (кг/м³).

Для получения конкретного решения необходимо уточнить так называемые *условия однозначности*, которые включают в себя *геометрические, физические, начальные и граничные условия*.

Начальными условиями является температура зоны печати в начальный момент процесса. Граничные условия учитывают условия теплообмена на границе изделия со средой зоны формирования. Задается температура окружающей среды и интенсивность теплообмена на поверхности, так называемый коэффициент теплоотдачи – α [Вт/м²·°К] или его приведенное значение, выражающееся в виде критерия $B_i = \alpha / \lambda$, где λ – характеристический размер тела, этот параметр при 3D-печати так же является нестационарным. Нестационарность процессов и сложная геометрия изделий не позволяет решить уравнения аналитически в общем виде.

В целом, применение уравнений теплопроводности к анализу процессов 3D-печати позволяет количественно рассчитать изменение температурных полей в формируемом изделии в течение всего процесса переработки на основе численных методов.

2 Моделирование процессов в экструдере 3D-принтера.

Экструдер можно разделить на три зоны, в соответствии с физическими процессами в них.

1 зона пластической деформации материала филамента и создания поршневого эффекта.

2 зона плавления материала, длина зоны плавления составляет 10–12 d, где d – диаметр нити филамента. Происходит процесс плавления твердой нити с образованием вначале тонкой пленки расплава, который занимает все сечение зоны, по мере перемещения в ней. Можно выделить две области: 1 – твердая уменьшающаяся нить с температурой T_1 ; 2 – жидкая увеличивающаяся пленка с температурой T_2 . Между ними проходит граница с температурой $T_{\text{пл}}$.

3 зона – сопло экструдера. Полимер из зоны 2 под давлением продавливается через капилляр, из которого выходит струя, диаметр которой несколько больше диаметра капилляра. Струя формирует нить на поверхности формируемого изделия.

Используются два основных режима формирования нити: 1 – температура полимера в момент его соприкосновения и прижима к нижележащему слою имеет величину больше температуры перехода в пластичное состояние полимера; 2 – температура полимера в момент после его выхода из сопла имеет величину в интервале между температурой плавления и температурой перехода в пластичное состояние. Этот режим используется для формирования «висячих мостиков» поверх конструктивных и технологических полостей в изделии и при печати разделительных слоев между изделием и элементами поддержки. Данный режим обеспечивается за счет принудительного охлаждения зоны сопла экструдера потоком воздуха. В простейшем случае скорость сдвига полимера (v) пропорциональна напряжению сдвига (τ):

$$\tau = \eta v.$$

Обычно с ростом напряжения сдвига скорость течения растет быстрее, чем предполагает закон Ньютона. Такие полимеры ведут себя как псевдопластичные жидкости. При этом ускорение течения обусловлено такими изменениями структуры полимера в процессе течения, которые приводят к падению вязкости. Чем больше напряжение сдвига, тем меньше вязкость. Падение вязкости с ростом напряжения сдвига называют аномалией вязкости, а величину вязкости, зависящую от напряжения сдвига, – эффективной вязкостью.

Большинство расплавов полимеров подчиняются степенному закону течения Оствальда-де-Вилля:

$$\gamma = \left(\frac{\tau}{\mu_0} \right)^n,$$

где μ_0 – коэффициент консистенции;

n – индекс течения.

Индекс течения для большинства полимеров находится в пределах от 1 до 10. Благодаря этому возможна переработка полимеров существующими методами, так как при росте напряжения сдвига значительно падает вязкость расплава. Исключением из этого является, например, фторопласт, расплав которого является ньютоновской жидкостью, поэтому его переработка невозможна на стандартных экструдерах рис. 3.

При расчетах частое применение находит эффективная вязкость. Это такая функция, которая позволяет производить расчеты как будто расплав является ньютоновской жидкостью, обычно является степенной функцией.



Рисунок 3 – Свойства полимеров в зависимости от напряжения сдвига

При практических расчетах режимов переработки под конкретное оборудование обычно используют показатель текучести расплава (ПТР). Это стандартизованный параметр, который определяется скоростью течения расплава через отверстие при постоянной нагрузке. Некоторые полимерные системы, например с наполнителем, не проявляют текучести ниже предельного напряжения сдвига, выше которого расплав или раствор течет либо как ньютоновская жидкость, либо как неньютоновская жидкость. Полимеры, течение в которых начинается при любом напряжении сдвига, называют вязкими. Полимеры, обладающие предельным напряжением сдвига, ниже которого течение не возникает, называют пластичными. Для реальных полимеров наиболее типична функция течения, предложенная Оствальдом и де-Вилом:

$$\tau = \eta v^n.$$

Эта функция отличается от закона Ньютона тем, что в нее скорость сдвига входит в степени n . Показатель n – индекс течения, который слабо зависит от скорости и напряжения сдвига и является характеристикой данного полимера.

Для задач ситуационного управления не существует строго формализованного определения целевой функции. Однако существует функция оптимальности Ω , построенная как свертка критериев оптимальности выполняемых операций:

$$\Omega = \sum_{i=0}^N \int_0^t R_i(t) F_i(t - \tau) \circ \tau,$$

где R_i – функция модели решения;

F_i – функция экстраполяции решения.

При выполнении ограничений:

$$C_i(x) < \lambda_i.$$

Множество допустимых решений это:

$$F_d = \bigcup_{i=1}^n F_i \cap \left(\bigcup_{j=1}^m C_j \right).$$

Такие задачи решаются методами нечеткого математического программирования, требующие прямого и обратного прохода. Решение данной задачи приводится к решению ряда задач линейного программирования с помощью введения дискретных α -уровней. В результате нечеткие ограничения принимают интервальный вид:

$$\sum_{i=1}^n s(a_{ij}) x_i \geq 0; j = 1, n,$$

где $s(a_{ij})$ – интервал $[a_{ij0}, a_{ij1}]$.

Таким образом, задача сведена к стандартной постановке в форме интервалов, алгоритмы решения которой определяются в виде:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij0}x_i \geq b_{0j}, j = 1, n;$$

$$\sum_{i=1}^n a_{ij1}x_i \leq b_{1j}.$$

Таким образом, задача нечеткого математического программирования представлена в форме стандартных задач линейного программирования на всех допустимых множествах уровня α для множества допустимых альтернатив. Если альтернатива x_k является решением задачи на множестве уровня α , число x_k есть степень принадлежности альтернативы множеству решений исходной задачи.

Заключение

Определены методические основы построения ситуационной модели контроля качества 3D-печати по технологии FDM. Применяемый подход, позволил обобщить ситуационную модель, для некоторых классов нестационарных технологических процессов. Входными параметрами ситуаций являются параметры технологического процесса, наблюдаемые в процессе изменения их во времени, и результаты визуальной оценки качества изделий. Результаты исследования апробировались в ЦМИТ «Уфамеханика». В процессе работы использовались 3D-принтеры MakerBot Replicator 2, Альфа 2 и другие. Благодаря построенным интеллектуальным алгоритмам, удалось сократить необходимое количество тестовых проходов 3D-печати, проводимых перед печатью изделий, и снизить количество бракованных изделий.

Список литературы

1. Колесников А.А. Ситуационное управление нестационарными производственными процессами на основе адаптивных нечетких моделей // LAMBERT Academic Publishing. – Gamburg, Germany. – 2011.
2. Парфенова М.Я., Покревский П.Е., Колесников А.А. Модель квазирезонансного управления нестационарным объектом с применением энтропии нечеткого множества / Труды института системного анализа РАН «Динамика неоднородных систем». Т. 53 (3). – М., 2010. – С. 16–28.
3. Доступная 3D-печать для науки, образования и устойчивого развития. Международный центр теоретической физики Абдус Салам – МЦТФ. – 2013.

SITUATIONAL CONTROL OF ENSURING THE QUALITY OF MANUFACTURING PRODUCTS BY ADDITIVE TECHNOLOGY

Kolesnikov A.A.,

*cand. tech. sci., associate professor,
department of management, informatics and general scientific disciplines,
e-mail: indra.ufa@gmail.com
VEGU Academy, Ufa, Russia
<http://www.vegu.ru/>*

The problem of automating the settings for 3d printing of products using FDM technology is considered, based on the situational management approach. It is suggested to consider the additive technological process as a sequence of situations. The analysis of product quality is carried out by decomposition of the basic situations, up to simple situations having one-step solutions. Typical defects of 3d printing are stored in the knowledge base, and the parameters of the non-stationary process of product formation are also stored in the database. Recommendations for improving the quality of products are formed both on the basis of the knowledge base and numerical modeling of the processes of non-stationary flow of polymer in the extruder, and modeling of the distribution of temperature in the zone of 3d printing.

Keywords: additive technologies, situational management, 3d printing