

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ для 3D-ПЕЧАТИ

Ю.Г. Кабалдин, Д.А. Шатагин, П.В. Колчин, М.С. Аносов,
А.В. Киселев (НГТУ им. Р.Е. Алексеева)

Предложен подход к решению задачи оптимального выбора параметров 3D-печати на стадии подготовки управляющей программы, а также поддержание данных режимов в процессе формирования объекта, основанный на применении цифрового двойника и искусственных нейронных сетей.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, цифровой двойник, аддитивные технологии, 3D печать, управляющая программа.

Современные промышленные предприятия создают на своих производственных площадках центры аддитивного производства, где устанавливают сложное высокотехнологичное оборудование, в частности 3D-принтеры. Данное оборудование позволяет решать определенные специфические производственные задачи, например, по производству единичных запасных частей к оборудованию [1]. При этом оборудование центров аддитивного производства требует выполнения определенных технологических операций на этапах организации производства и эксплуатации.

В связи с этим возникает задача оптимального выбора параметров печати на стадии подготовки управляющей программы, а также поддержание данных режимов в процессе формирования объекта. Предлагается решать данную задачу с применением цифрового двойника, в основе которого лежит система из искусственных нейронных сетей [2, 3].

Подход, предполагающий создание цифрового двойника, является одним из трендов цифровизации производственных предприятий. В данном направлении известны разработки западных производителей средств и систем автоматизации, а также коллективов отечественных исследовательских организаций. Так, компания General Electric разработала цифрового двойника на основе искусственных нейронных сетей [4], который используется при управлении режимами 3D-печати в процессе селективного лазерного сплавления. Основные данные, которыми оперирует система, это фото и видеоизображения температурного пятна, которые благодаря системам компьютерного зрения обрабатываются и используются для обучения. В СПбПУ им. Петра Великого имеются разработки для технологии электродугового выращивания объектов по технологии WAAM [5]. В основе предложенной системы лежит мониторинг режимов 3D-печати при помощи датчиков и использование данной информации при обучении нейронной сети. Отметим, что представленные аналоги не могут быть применены при подготовке управляющей программы для 3D-печати. Данный этап связан

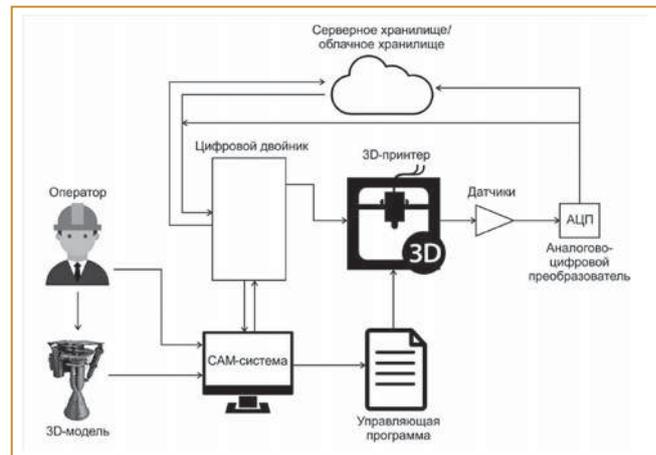


Рис. 1. Общая структура взаимодействия с цифровым двойником

с высоким риском ошибки, которая может перейти на производственную площадку.

Предлагаемая НГТУ им. Р.Е. Алексеева структура системы по построению управляющей программы для 3D-принтера представлена на рис. 1. В системе используется цифровой двойник, позволяющий выбирать наиболее оптимальные режимы работы оборудования (3D-принтера).

Разработчик программы для 3D-принтера, использует 3D-модель конечного изделия, в САМ-системе¹ создает управляющую программу для 3D-принтера. Затем разработчик через САМ-систему обращается к модулю цифрового двойника, а именно, к входящей в него искусственной нейронной сети (рис. 2), и обеспечивает ее информацией об изделии в виде следую-

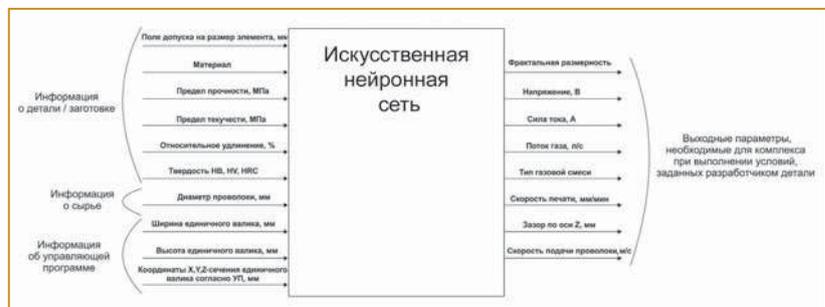


Рис. 2. Искусственная нейронная сеть цифрового двойника для подготовки управляющей программы на стадии разработки

¹ САМ (Computer-aided manufacturing) — автоматизированная система для подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ.



Рис. 3. Искусственная нейронная сеть цифрового двойника для управления режимами 3D-принтера на стадии формирования объекта

щих параметров: поле допуска на размеры, материал, механические свойства (предел прочности, предел текучести, относительное удлинение, твердость и аналогичные параметры); информацией о сырье; предварительно полученной информацией в САМ-системе: координаты траекторий, высота слоя, ширина единичного валика и др. При этом система искусственных нейронных сетей способна назначать параметры, управляющие процессом 3D-печати в зависимости от применяемой технологии и оборудования аддитивного производства, а также моделировать сигнал, аналогичный тому, который фиксируется с датчиков, прошедший через аналогово-цифровые преобразователи. Это возможно на базе ранее полученного опыта, сформированного посредством обучения с использованием больших данных о процессе 3D-печати на данном и аналогичном оборудовании.

Если совокупность входных параметров, поступивших в модуль цифрового двойника, не позволяет вычислить выходные параметры, система дает обратную связь разработчику, содержащую информацию об ошибках, предложения по изменению входных параметров. Если ошибки отсутствуют, САМ-система получает от модуля цифрового двойника управляющие параметры, которые включаются в текст управляющей программы для 3D-принтера. Далее сформированная управляющая программа передается в систему управления 3D-принтера, откуда поступают команды на исполнительные органы оборудования. С их помощью формируется изделие с заданными свойствами.

При этом 3D-принтер оснащен системой датчиков, которые фиксируют состав и концентрацию газовой атмосферы, положение рабочих органов, а также контролирует вибрацию, температуру, акустическую эмиссию, время, фото, видео и аудиосигналы от исполнительных органов, процесса 3D-печати и формируемого объекта. Вся полученная с датчиков информация проходит через аналогово-цифровые

Кабалдин Юрий Георгиевич – д-р техн. наук, проф., **Шатагин Дмитрий Александрович** – канд. техн. наук, доцент, **Колчин Павел Владимирович** – аспирант, **Аносов Максим Сергеевич** – канд. техн. наук, старший преподаватель, **Киселев Андрей Викторович** – аспирант кафедры «Технология и оборудование машиностроения» Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева.
E-mail: posledny@mail.ru

преобразователи и передается на вход искусственной нейронной сети, которая подключена к 3D-принтеру и является частью цифрового двойника. Подобная искусственная нейронная сеть для технологии WAAM представлена на рис. 3. Она призвана анализировать данные с датчиков, информацию об изделии, данные о сырье, текущих параметрах 3D-печати, имеющиеся в управляющей программе, и способна формировать в виде команд решение о корректировке того или иного параметра в процессе производства объекта. Это необходимо для поддержания параметров, необходимых для обеспечения готового изделия теми характеристиками и свойствами, которые были заданы разработчиком на стадии проектирования. Все данные о параметрах 3D-печати и состоянии оборудования передаются в базы данных предприятия с целью дообучения цифрового двойника, а также обмена данными с аналогичными системами.

Таким образом, с помощью предлагаемого цифрового двойника могут быть расширены возможности САМ-систем при подготовке управляющих программ для 3D-печати изделий, реализованы процессы назначения рекомендуемых параметров 3D-печати и поддержания режимов 3D-печати на уровне, необходимом и достаточном для получения характеристик конечного изделия, заданных разработчиком.

Предложенный НГТУ им. Р. Е. Алексеева цифровой двойник, состоящий из системы искусственных нейронных сетей, работает с характеристиками будущего объекта, что дает возможность управлять механическими свойствами и геометрической точностью конечного изделия.

Список литературы

1. *Понадюк С.С.* Опыт СИБУР по внедрению на производстве аддитивных технологий // Автоматизация в промышленности. 2019. №7.
2. *Кабалдин Ю.Г., Колчин П.В., Шатагин Д.А., Киселев А.В.* Интеллектуальное управление гибридной технологией, включающей 3D-печать и механическую обработку на станках с ЧПУ в условиях цифровых производств // Автоматизация. Современные технологии. 2018. № 8. С. 79-85. (ВАК).
3. *Кабалдин Ю. Г., Шатагин Д.А., Аносов М.С., Колчин П.В., Кузьмишина А.М.* Искусственный интеллект и киберфизические механообрабатывающие системы в цифровом производстве: монография. Под ред. Ю. Г. Кабалдина. НГТУ им. Р. Е. Алексеева. Нижний Новгород. 2018. 271 с.
4. Laser Focus: Computer Vision and Machine Learning Are Speeding Up 3D Printing [Электронный ресурс] URL: <https://www.ge.com/reports/laser-focus-computer-vision-machinelearning-speeding-3d-printing>.
5. Аддитивное электродуговое выращивание с использованием сварочной проволоки (Wire and arc additive manufacturing — WAAM) URL: [http://www.lwms.spbstu.ru/razrabotki/wire-and-arc-additivemanufacturing-\(waam\)/](http://www.lwms.spbstu.ru/razrabotki/wire-and-arc-additivemanufacturing-(waam)/)