

## АНАЛИЗ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ДЕФЕКТОВ 3D-ПЕЧАТИ

К. П. ИВАШКОВА<sup>1</sup>, А. Н. ФИЛИППОВ<sup>1</sup>, Е. А. КОПАСОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: greatwillow@mail.ru

<sup>2</sup>ООО „Илка-ЛВС“, 197342, Санкт-Петербург, Россия

Рассматриваются современные проблемы аддитивных технологий. Показана важность автоматизации поиска решения по устранению дефектов деталей, формируемых с использованием 3D-печати. Представлена классификация дефектов по источнику возникновения. Разработано возможное меню поисковых предписаний для нахождения решения проблемы на основе виртуального строкового пространства технологических данных.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, 3D-печать, база данных, виртуальное пространство

Одним из самых перспективных направлений в производстве являются аддитивные технологии. Если в настоящее время 3D-печать используется, например, при изготовлении небольших деталей со сложной геометрией, то в будущем возможно изготовление крупногабаритных приборов в сборке или печать жилых домов.

К преимуществам аддитивных технологий относятся сокращение времени производственного цикла, отказ от дополнительной обработки изделия, возможность создания сложных пространственных неразборных деталей, снижение затрат на материал и т.д. Следует, однако, отметить трудности, связанные с 3D-печатью: это длительный процесс создания модели при высокой детализации изделия, необходимость в дополнительной технологической поддержке, отсутствие методологического обеспечения, а также отечественных аналогов оборудования и материалов, сложность использования некоторых материалов, недостаток квалифицированных кадров [1].

В настоящее время изготовление качественной детали возможно при использовании дорогостоящего оборудования и материалов для печати, что при единичном производстве сложной детали экономически целесообразно. Аддитивные технологии и системы виртуального моделирования применяются при подготовке производства полимерных изделий [2, 3]. Материалы, обладающие высоким потенциалом для применения в аддитивных технологиях, рассмотрены в работах [4, 5]. Изделия, созданные с использованием широко доступных, дешевых материалов, имеют некоторые дефекты. Устранение этих дефектов путем 3D-печати приведет к распространению данной технологии и удешевлению производства.

Для решения задачи устранения дефектов необходимо собрать и проанализировать информацию о распространенных проблемах 3D-печати. В частности, требуется выяснить причины возникновения дефектов, создать соответствующую их классификацию и предложить возможные решения по устранению сбоев. Результатом проведенных исследований должна стать разработка прототипа базы данных возможных дефектов и создание онтологического словаря дефектов.

Стремление к автоматизации всех процессов современного производства нашло отражение в предложенной немецкими учеными концепции Индустрия 4.0. Это средство повышения конкурентоспособности обрабатывающей промышленности через усиленную интеграцию „киберфизических систем“ (CPS — CyberPhysical Systems) в заводские процессы [6].

Киберфизические системы позволяют изменить традиционную логику производства, поскольку каждый рабочий объект будет сам определять, какую работу необходимо выполнить.

Автоматическое определение дефекта — одна из самых актуальных проблем аддитивных технологий. Это объясняется огромным объемом данных, которые нужно проанализировать и учитывать при принятии решения, а также сложностью принятия этого решения из-за схожести дефектов, возникающих по различным причинам. Кроме того, решение должно быть принято быстро, чтобы дефект можно было устранить до того, как он станет необратимым. Человеку не всегда удается выполнить эти условия.

Во-первых, для своевременной диагностики дефектов необходимо наличие экспертов, круг которых ограничен, кроме того, даже имеющиеся эксперты не могут обслужить все устройства, нуждающиеся в наблюдении [7]. Во-вторых, мнения экспертов, основанные на их личном опыте, могут быть разными, вследствие чего решения для одной и той же проблемы могут сильно отличаться. При этом следует учитывать такие факторы, как невнимательность, усталость, ошибки, что может повлиять на качество принятого решения проблемы и соответственно на производительность.

Таким образом, в том числе в силу указанных причин, необходимость создания технических средств для анализа проблем и поиска решения не вызывает сомнений.

На основе проведенного анализа статистики дефектов трехмерной печати можно приступить к созданию прототипа базы данных (БД), куда занесем информацию различных категорий. Анализ статистики показывает, что можно выделить следующие основные источники возникновения проблем:

- физические характеристики материала (*материал*);
- неполадки в механизме принтера (*механика*);
- просчеты при создании виртуальной модели (*модель*);
- сбои программного обеспечения принтера (*программа*).

Обозначим каждый источник краткими терминами, которые в дальнейшем будут приняты за основу для поисковых предписаний.

Категория „Источник проблемы“ — основная в создаваемом прототипе базы данных, так как служит для поиска решения проблем трехмерной печати.

Вторая важная категория — „Наименование дефекта“. В этом разделе будут храниться принятые стандартные названия всех дефектов изделия. Во избежание путаницы, в разделе „Описание дефекта“ будет дана трактовка каждому его наименованию, что позволит ускорить процесс работы с БД, особенно при ее использовании не специалистом.

Учитывая, что один и тот же дефект может возникать по разным причинам, введем категорию „Вероятность“, связанную с категорией „Источник проблемы“ и предназначенную для указания пользователю, какая причина по статистике является более распространенной. Исходя из вероятности, человек или система выбирает решение данной проблемы. Варианты устранения дефекта заносятся в категорию „Решение“.

Далее необходимо установить правила управления базой данных. Для этого создадим словари БД. Воспользуемся для стандартизации словарей виртуальным строковым пространством технологических данных (ВСПТД) [8]. За счет гибкости ВСПТД словари и правила можно изменять и расширять со временем, что непременно потребуется с развитием 3D-печати.

Структурно словарь представляет собой табличный файл, который создается пользователем с помощью инструментов работы с табличной базой данных, — в общем случае онтологический словарь [9]. Словарь представляет собой набор таблиц с именами заданного типа. Именем однозначно идентифицируется некое полученное значение в системе, которое может изменяться.

Таблицы имеют одинаковую структуру для первых трех граф [8]:

- имя поля;
- формат поля;
- наименование поля.

Создадим словарь дефектов, где будет содержаться информация о дефектах и их причинах. Каждому дефекту присваивается собственный код для облегчения поиска в системе. В табл. 1 приведен пример словаря объекта DEFECT (дефект), содержащий параметры группы NM (имя): COD (код дефекта), NAME (наименование дефекта) и DESCRIPTION (описание дефекта). Формат параметров COD, NAME и DESCRIPTION буквенный.

Таблица 1

Словарь объекта DEFECT

Имя NM	Формат параметра	Наименование параметра
COD	X(3)	Код дефекта
NAME	X(30)	Наименование дефекта
DESCRIPTION	X(30)	Описание дефекта
...		

В табл. 2 приведен пример словаря объекта SOURCE (источник проблемы), содержащий параметры COD (код дефекта), CODMOTIVE (код источника), MOTIVE (источник проблемы) и PROBABILITY (вероятность). Для параметра MOTIVE предложены возможные значения: Mt (материал), Mh (механика), Pr (программа), Ml (модель). Формат параметров CODMOTIVE и PROBABILITY числовой, параметра MOTIVE — буквенный.

Таблица 2

Словарь объекта SOURCE

Имя NM	Формат параметра	Наименование параметра
COD	X(3)	Код дефекта
CODMOTIVE	999	Код источника
MOTIVE	X(30)	Источник проблемы
PROBABILITY	999	Вероятность
...		

Словарь объекта ACTION (действие) содержит параметры COD (код дефекта), CODMOTIVE (код источника), PROBABILITY (вероятность) и SOLUTION (решение), указанные в табл. 3. Каждому значению кода соответствуют несколько наименований параметра „Решение“, выбираемых с учетом указанной вероятности и содержащих инструкцию по устранению ошибки.

Таблица 3

Словарь объекта ACTION

Имя NM	Формат параметра	Наименование параметра
COD	X(3)	Код дефекта
CODMOTIVE	999	Код источника
PROBABILITY	999	Вероятность
SOLUTION	X(30)	Решение
...		

Допустим, что имеется дефект „Провисания“, которому соответствует код дефекта „025“, причина возникновения данного сбоя — материал или модель, коды источника приняты соответственно равными „145“ и „343“. Тогда строка с описанием ошибки и ее решением будет иметь следующий вид:

```

$DEFECT.COD='025'; $SOURCE.MOTIVE='Mt';
$DEFECT.NAME='Провисания';
$DEFECT.DESCRPTION='Провисания получаются при переходе печатающей
половки от одного крупного элемента к другому, тянущей за собой пластик';
$SOURCE.PROBABILITY=85;
$SOURCE.CODMOTIVE=145;
$ACTION.SOLUTION='Пластик сильно плавится. Снизить температуру печати';

```

```
$DEFECT.COD=025; $SOURCE.MOTIVE='M1';  
$DEFECT.NAME='Провисания';  
$DEFECT.DESCRPTION='Провисания получаются при переходе печатающей  
головки от одного крупного элемента к другому, тянущей за собой пластик';  
$SOURCE.PROBABILITY=15;  
$SOURCE.CODMOTIVE=343;  
$ACTION.SOLUTION='Неправильно задана толщина печатаемого слоя'.
```

Словари связаны между собой правилами вывода [8] для поиска решения. Ниже приведен пример правила вывода:

```
ЕСЛИ $DEFECT.COD=025 И $DEFECT.MOTIVE='Mt' ТО $ACTION.PROBABILITY=85  
И $ACTION.COD='0134'
```

Таким образом, после определения кода ошибки в базе данных с помощью правил вывода будет найдено и предложено решение проблемы.

Разработанный прототип базы данных может быть использован для создания экспертной системы (ЭС) по устранению дефектов 3D-печати. Экспертная система предназначена для работы со знаниями в определенной предметной области с целью выработки рекомендаций или решения проблем и позволяет минимизировать или полностью исключить участие человека в процессе анализа и принятия решения по определенным вопросам. Благодаря гибкости ЭС позволяет вносить новые данные, полученные в ходе исследований, и корректировать прежние в случае необходимости. ЭС может быть использована и как информационная система, например, для ответа на поставленный человеком вопрос или для совета при принятии решения.

Таким образом, база данных дефектов 3D-печати может служить основой при создании ЭС для принятия решений по проблемам аддитивного производства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевченко Д. Ю. Аддитивные технологии в машиностроительном производстве // Комплексные проблемы развития науки, образования и экономики региона. 2015. № 2(7). С. 89—97.
2. Яблочников Е. И., Пирогов А. В., Грибовский А. А. Совместное применение аддитивных технологий и систем виртуального моделирования при подготовке производства полимерных изделий // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 5. С. 72—76.
3. Медунецкий В. М., Романов Н. А. Компьютерное моделирование и визуализация технологии изготовления нестандартных зубчатых колес из полимерных композиционных материалов // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 5. С. 397—400.
4. Зленко М. А., Нагайцев М. В., Довбыш В. М. Аддитивные технологии в машиностроении М.: ГНЦ „НАМИ“, 2015. 220 с.
5. Довбыш В. М., Забеднов П. В., Зленко М. А. Аддитивные технологии и изделия из металла [Электронный ресурс]: <[http://nami.ru/uploads/docs/centr\\_technology\\_docs/55a62fc89524bAT\\_metall.pdf](http://nami.ru/uploads/docs/centr_technology_docs/55a62fc89524bAT_metall.pdf)>, 03.02.2016.
6. Вальстер В. Индустрия 4.0: производственные процессы будущего // Тенденции в автоматизации. 2014. № 14.
7. Вакин В. В. Построение экспертной системы диагностики дефектов вращающихся механизмов: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 2000.
8. Филиппов А. Н. Виртуальное строковое пространство технологических данных и знаний: Учеб. пособие. СПб: Ун-т ИТМО, 2015. 80 с.
9. Верхотурова Ю. С. Онтология как модель представления знаний // Вестник БГУ. 2012. № 15. С. 32—37.

#### Сведения об авторах

**Ксения Павловна Иващенко**

— студентка; Университет ИТМО; кафедра технологии приборостроения;  
E-mail: greatwillow@mail.ru

- Александр Николаевич Филиппов** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО; кафедра технологии приборостроения; E-mail: filippov\_an@rambler.ru
- Евгений Александрович Копасов** — ООО „Илка-ЛВС“; Санкт-Петербург; генеральный директор; E-mail: kea@informnet.spb.ru

Рекомендована кафедрой  
технологии приборостроения

Поступила в редакцию  
24.11.16 г.

**Ссылка для цитирования:** Ивашкова К. П., Филиппов А. Н., Копасов Е. А. Анализ и систематизация дефектов 3D-печати // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 5. С. 426—430.

#### ANALYSIS AND SYSTEMATIZATION OF 3D PRINTING DEFECTS

K. P. Ivashkova<sup>1</sup>, A. N. Filippov<sup>1</sup>, E. A. Kopasov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia  
E-mail: greatwillow@mail.ru

<sup>2</sup>Ilka-LAN LLC, 197342, St. Petersburg, Russia

Current problems of additive technologies are considered. The importance of automating solution to the problem of elimination of defects of parts produced using 3D printing. A classification of the defects by their origin is presented. Developed facilities. An optional menu for searching instructions used to find a solution to the problem based on the string of the virtual space of the process data is developed.

**Keywords:** additive technologies, 3D printing, database, virtual space

#### Data on authors

- Ksenia P. Ivashkova** — Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technologies; E-mail: greatwillow@mail.ru
- Aleksander N. Filippov** — PhD, Associate Professor; ITMO University, Department of Instrumentation Technologies; E-mail: filippov\_an@rambler.ru
- Evgeny A. Kopasov** — Ilka-LAN LLC, General Director; E-mail: kea@informnet.spb.ru

**For citation:** Ivashkova K. P., Filippov A. N., Kopasov E. A. Analysis and systematization of 3D printing defects // Journal of Instrument Engineering. 2017. Vol. 60, N 5. P. 426—430 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-5-426-430