

**Ключевые слова:**

цифровой двойник, системы контроля, инспектирующие машины, искусственные нейронные сети, технологический процесс, автоматическая роторная линия, качество изделий

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Олег ПАНТЮХИН, Сергей ВАСИН

Изложена процедура создания цифрового двойника технологических процессов массовых производств. В качестве систем контроля предложено применение современных контрольно-измерительных систем и инспектирующих машин. Для прогнозирования параметров качества изделий на потоке использован математический аппарат теории искусственных нейронных сетей.

В настоящее время на ряде передовых предприятий происходит формирование признаков цифровизации промышленности. Появляются компьютерные технологии, применяются системы искусственного интеллекта, развивается автоматизация, для прогнозирования параметров производства используются искусственные нейронные сети (ИНС), разрабатываются цифровые двойники изделий и процессов.

Для обеспечения высоких требований к точности и качеству изделий необходимо постоянное получение информации о процессе и состоянии полуфабриката изделия на каждой технологической операции. Для решения данной задачи наиболее эффективным представляется использование математического аппарата ИНС [1] и цифрового двойника технологического процесса.

Цифровая модель дешевле натуральных испытаний, легко перенастраивается и адаптируется под изменяемые внешние условия, минимизирует затраты на освоение часто меняющейся широкой номенклатуры изделий. Для создания адекватной модели, близкой к реальному процессу, необходимо аккумулирование всей информации о материале, оборудовании, особенностях технологии произ-

водства. Объединение цифрового двойника изделия и процесса в рамках единой цифровой модели позволяет эффективно решить задачу управления качеством на предприятии с минимальными затратами.

При этом цифровые двойники должны создаваться на основе постоянно обновляющейся информации об изделии и процессе на потоке. Цифровой двойник анализирует полученную информацию, оценивает состояние процесса и выдает рекомендации о выработке управляющего воздействия на процесс в случае необходимости.

Для мониторинга процесса и измерения изделия на каждой технологической операции предприятию необходимо использование специализированного контрольно-измерительного оборудования. Данное оборудование может быть представлено в виде различных датчиков, систем оптического контроля, систем сортировки и отбраковки, измерения геометрии деталей при их производстве. Подобные системы снижают уровень брака готовой продукции до минимума. Также для точных измерений изделий используют 3D-сканеры лазерного типа, измеряющие длину, диаметры, конусы, радиусы, зазоры, диаметр

дульца, перпендикулярность, прямолинейность, соосность, параметры резьбы.

Например, при производстве гильз и пуль для измерения наиболее эффективно применение инспектирующих машин (систем отбраковки и сортировки деталей) на основе лазерного принципа измерения, контролирующих параметры по всей длине и по всему диаметру изделия. Также данное оборудование позволяет определить трещины, дефекты и отбраковывает изделия, не соответствующие допуску на размер. При контроле продукции массовых производств инспекционная машина может быть оснащена системой подачи деталей. Скорость проверки составляет порядка 300 изделий в минуту, что соответствует производительности оборудования (например, АРЛ – автоматических роторных линий).

Существуют также инспекционные машины, которые фиксируют и отсеивают изделия с дефектами самого металла (трещинами, отверстиями, загрязненностью или налипанием посторонних материалов, наличием коррозии, царапинами и вмятинами, заминанием).

Рассмотрим процедуру создания цифрового двойника технологического процесса изготовления патрона спортивно-охотничьего (ПСО) калибра 7,62 × 29 мм. Она включает в себя следующие этапы (рис.1):

- измерение параметров качества полуфабриката на каждой технологической операции с помощью современных систем контроля;
- обучение ИНС на основе полученных измерений;
- создание на основе обученных ИНС рабочих программ;
- применение рабочих программ для прогнозирования параметров качества полуфабриката на каждой технологической операции.

Использование аппарата ИНС для создания цифрового двойника данного технологического процесса оправдано тем, что изготовление элементов ПСО осуществляется на АРЛ [2]. Особенность производств, функционирующих на базе АРЛ, заключается в непрерывности технологического процесса и транспортирования изделия на всех стадиях изготовления – от заготовительных до окончательных операций. Роторное производство требует соответствующей системы оценки качества продукции, совмещающей принципы непрерывности технологического контроля, оперативности, объективности оценки качества готовой продукции, возможности регулирования хода технологического процесса.

При построении ИНС использовалась программа STATISTICA, имеющая специализированный модуль для построения нейронных сетей. В данную программу загружался массив значений измерен-

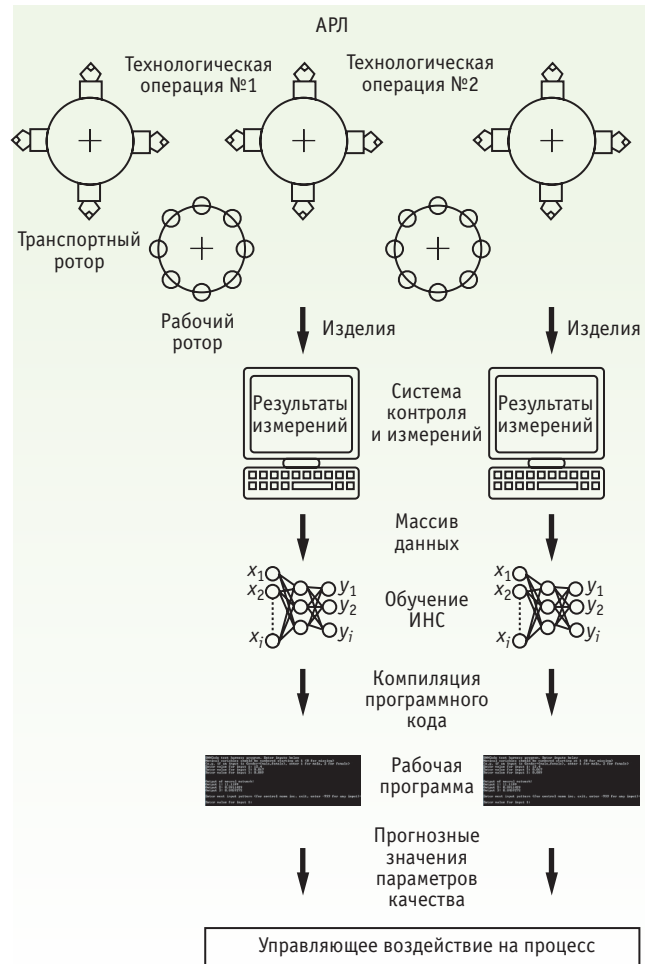


Рис. 1. Структура цифрового двойника технологического процесса

1	2	3	4	5	6
Диаметр заготовки после 2-ой вытяжки	Разностенность у дна после 2-ой вытяжки	Разностенность у обреза после 2-ой вытяжки	Диаметр заготовки после 4-ой вытяжки	Разностенность у дна после 4-ой вытяжки	Разностенность у обреза после 4-ой вытяжки

Задайте зависимые, независимые и кодирующие переменные					
1-Диаметр заготовки по	1-Диаметр заготовки по	1-Диаметр заготовки по	1-Диаметр заготовки по		
2-Разностенность у дна	2-Разностенность у дна	2-Разностенность у дна	2-Разностенность у дна		
3-Разностенность у обр	3-Разностенность у обр	3-Разностенность у обр	3-Разностенность у обр		
4-Диаметр заготовки по	4-Диаметр заготовки по	4-Диаметр заготовки по	4-Диаметр заготовки по		
5-Разностенность у дна	5-Разностенность у дна	5-Разностенность у дна	5-Разностенность у дна		
6-Разностенность у обр	6-Разностенность у обр	6-Разностенность у обр	6-Разностенность у обр		
Больше	Инфо	Больше	Инфо	Больше	Инфо
Непр. выходные:	Непр. выходные:	Категориальн. входные:	Коды выборки:		
4-6	1-3				

Рис. 2. Выбор зависимых и независимых переменных

ных параметров, и проводился выбор данных для анализа (рис.2).

Далее осуществлялся выбор архитектуры сети, и проводилось ее обучение (рис.3).

Выбор лучшей сети осуществлялся программой по наилучшей производительности ИНС и наи-

Архитектура	Производ...	Контр. про...	Тест. прои...	Ошибка о...	Контр...	
3	МП 1:1-3:3:3	1,001744	3,753940	3,752336	0,012553	0,006
4	МП 3:3-9:3:3	1,011364	8,088081	8,678402	0,012197	0,007
5	МП 3:3-8:3:3	1,009286	7,298881	7,879023	0,011994	0,007
6	МП 3:3-10:3:3	1,015206	9,606064	11,025791	0,011906	0,007
7	МП 3:3-10:3:3	1,003974	4,872910	5,773842	0,009963	0,005
8	МП 3:3-8:3:3	1,005211	5,316487	5,795993	0,009869	0,005
9	МП 3:3-10:3:3	1,001726	3,111286	3,224587	0,009809	0,005

Рис. 3. Процесс обучения ИНС

полученные в результате прогноза значения выйдут за допустимые пределы, осуществляется анализ причин произошедшего и осуществляется управляющее воздействие на процесс (замена инструмента, наладка оборудования и др.). При освоении технологии производства других калибров ПСО построение цифрового двойника технологического процесса проводится заново по тому же алгоритму.

Точность полученного прогноза зависит от качества исходных данных для обучения сети, которые должны достаточно равномерно представлять всю область возможных значений входных параметров [3]. Реализацию данного условия гарантирует использование вышеописанных инспекционных машин и систем контроля.

Созданный цифровой двойник технологического процесса является эффективным инструментом управления качеством целого класса изделий массовых производств. Достоинствами цифрового двойника являются универсальность и возможность применения при существующей инфраструктуре производства и на используемом в данный момент оборудовании. Его внедрение на предприятии позволит сократить затраты на контроль, повысить качество продукции и предотвратить выпуск брака.

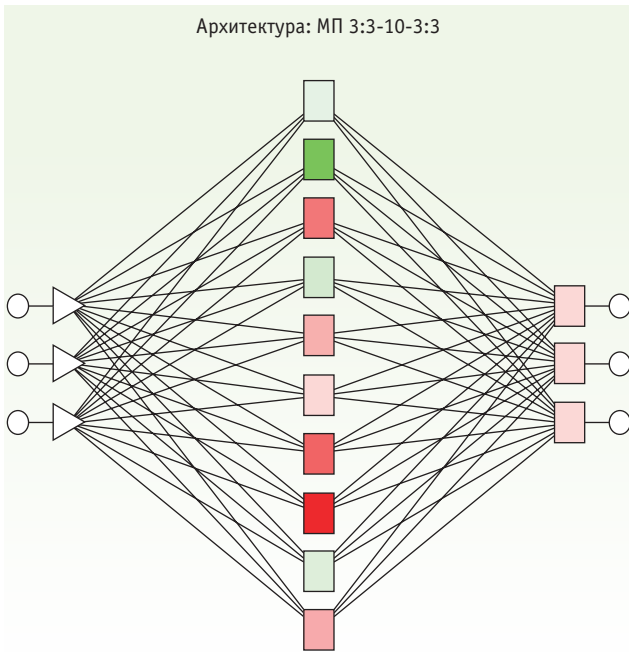


Рис. 4. Обученная ИНС

```
SNNCode test harness program. Enter inputs below
Nominal variables should be numbered starting at 1 (0 for missing)
(e.g. if an input is Gender=<male,female>, enter 1 for male, 2 for female)
Enter value for input 1: 12.4
Enter value for input 2: 0.067
Enter value for input 3: 0.089

Output of neural network:
Output 1: 11.1189
Output 2: 0.0914429
Output 3: 0.0459272

Enter next input pattern (for control menu inc. exit, enter -999 for any input):
Enter value for input 1:
```

Рис. 5. Окно рабочей программы

меньшей ошибке на контрольном и тестовом множествах (рис.4).

Далее с помощью встроенной в программу опции генерируется программный код, представляющий собой текст программы на одном из языков программирования. Затем с помощью компилятора кода получается рабочая программа в виде файла с расширением «.exe» (рис.5).

Рабочая программа используется сотрудником отдела технического контроля предприятия для прогнозирования размеров полуфабриката на последующей операции на основе размеров заготовки на текущей операции. В том случае, когда

ЛИТЕРАТУРА

1. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. М.: Финансы и статистика, 2004. 176 с.
2. Пантюхин О.В. Управление качеством изделий автоматизированных производств с применением искусственных нейронных сетей // Автоматизация: Проблемы, идеи, решения: сборник научных трудов Национальной научно-технической конференции «АПИР-25» / Под науч. ред. В.В. Прейса. Тула: Изд-во ТулГУ, 2020. С. 250–253.
3. Пантюхин О.В. Процедура построения искусственной нейронной сети // Известия ТулГУ. Технические науки. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. Вып. 1. С. 157–161.

ПАНТЮХИН Олег Викторович – кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

ВАСИН Сергей Александрович – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»



МашЭкспо Сибирь

18+

МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

30 МАРТА - 2 АПРЕЛЯ 2021

Отраслевое событие Сибири!

70

Более 70 производителей и поставщиков оборудования и материалов для металлообработки и сварки из России, Белоруссии, Германии, Италии, Швейцарии, Японии, Китая.



Здесь ведущие производители станков, сварочного оборудования встречаются с представителями крупных и средних промышленных предприятий.



Деловая программа посвящена актуальным проблемам машиностроения и передовым технологиям в сфере металлообработки.

Организатор: ООО «СВК»

Место проведения:



СИБИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ



НОВОСИБИРСК
ЭКСПО ЦЕНТР

mashexpo-siberia.ru

