

УДК 004.383.8.032.26:621.9

*В.Д. ДМИТРИЕНКО*, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",  
*И.П. ХАВИНА*, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ",  
*В.А. БРЕЧКО*, асп., НТУ "ХПИ"

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ МНОГОСЛОЙНОЙ АССОЦИАТИВНОЙ ПАМЯТИ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

Впервые на основе нейросетевой ассоциативной памяти предложены архитектура и алгоритмы функционирования многослойной ассоциативной памяти с управляющими нейронами, которая может запоминать цепочки ассоциаций. Многослойная ассоциативная память используется для синтеза оптимальных маршрутных карт получения изделий методами лезвийной обработки материалов. Ил.: 4. Табл.: 1. Библиогр.: 11 назв.

**Ключевые слова:** ассоциативная память, цепочки ассоциаций, многослойная нейронная сеть, технологический процесс, маршрутная карта.

**Постановка проблемы и анализ литературы.** Усложнение существующей техники, возрастающие требования к точности изделий, использование новых материалов и т.д. существенно повышают трудоемкость технологической подготовки производства современных высокоточных деталей, узлов и агрегатов. Для автоматизации подготовки технологических процессов, как правило, используются АСУ ТП (автоматизированные системы управления технологическими процессами) – комплексы необходимых технических и программных средств для обеспечения проектирования технологических процессов. Без применения АСУ ТП в настоящее время не обходиться ни одна отрасль производства. Такие системы представляют собой "человеческо-машинные" модули, когда система работает в диалоговом режиме с технологом, или шаблонные системы, которые требуют адаптации под конкретное производство [1 – 6].

Примером такой системы является NX (или Unigraphics), которая используется в машиностроении, где выпускаются изделия с большим числом деталей, и в таких отраслях, как авиационная промышленность, выпускающих изделия со сложными формами. Система может использоваться как для программирования обработки изделия на одном станке, так и как CAD/CAM-система для управления технологическими данными. Другая система – SprutCAM, которая поддерживает разработку управляющих программ для оборудования с программным управлением.

---

© В.Д. Дмитриенко, И.П. Хавина, В.А. Бречко, 2015

С помощью этой системы можно создавать трехмерные схемы станков и виртуально производить предварительную обработку изделия. Работа таких систем основана на диалоговом общении с технологом и на построении трехмерных моделей деталей, и не обеспечивает машинную оптимизацию технологического процесса в целом [7 – 9].

Однако существуют и такие отрасли машиностроения, например, авиастроение, где использовать известные и доступные системы проектирования технологических процессов невозможно в силу уникальности, сложности и трудоемкости изделий. В таких случаях предприятия вынуждены самостоятельно разрабатывать автоматизированные системы управления проектированием технологических процессов обработки изделий. В связи с этим для авиационной промышленности Украины актуальна, с одной стороны, разработка технологических процессов для изготовления уникальных деталей и изделий, а, с другой стороны, разработка специализированной АСУ ТП, хранящей в памяти уникальные технологические процессы, и оптимизирующей процесс производства деталей на конкретном парке работающих станков.

**Целью работы** является разработка оптимальных технологических процессов производства высокоточных деталей авиационной промышленности на заданном парке станочного оборудования.

Одними из самых сложных изделий в авиационной промышленности считаются авиационные двигатели, которые при относительно малом весе и габаритах должны обеспечивать высокую мощность и надежно функционировать в любых эксплуатационных режимах. Поэтому при их изготовлении используются высокопрочные, но труднообрабатываемые материалы и поверхности и требуется высокая точность. Это делает изготовление авиадвигателей уникальным производством, которое требует разработки ряда сложных технологических процессов. В качестве примера рассмотрим корпусную деталь, представленную на рис. 1.

Деталь имеет 61 поверхность, часть из которых обозначена на рис. 1. Имеются наружные и внутренние цилиндрические поверхности, а также канавки сложной формы (поверхность 9), участок конусной поверхности (поверхность 6). Второстепенными поверхностями детали являются фаски, торцы, скосы, цилиндрические поверхности. Материал детали – сталь 7ХГ2ВМФ.

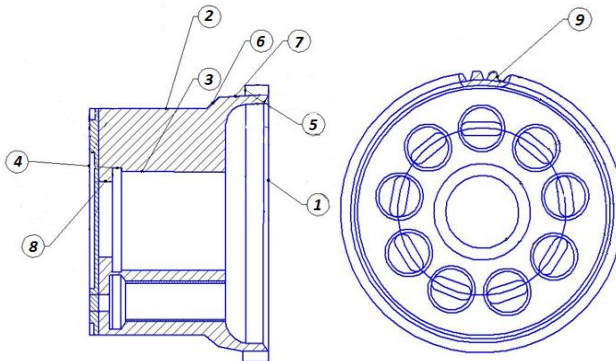


Рис. 1. Корпусная деталь с нумерацией поверхностей: 1, 4, 5 – торцы детали, 2 и 7 – внешние цилиндрические поверхности, 3 и 8 – поверхности внутренних отверстий, 6 – конусная поверхность, 9 – канавки сложной формы

При проектировании технологического процесса изготовления этой детали строятся операционная и маршрутная карты. Для построения операционной карты определяются виды операций над базовыми поверхностями с учетом черновой, получистовой и чистовой обработки. Пример базовой операционной карты технологического процесса приведен в табл., где описываются первые семь операций технологического процесса обработки восьми поверхностями детали.

Данные базовой операционной карты и данные о припусках, качествах, шероховатости, допусках и т.п. позволяют построить маршрутную карту технологического процесса, то есть определить набор оборудования для каждой операции. Набор оборудования включает станки станочного парка предприятия, данные о котором хранятся в базе данных. Из набора оборудования необходимо выбрать станок, который выполнит данную операцию с минимальной себестоимостью  $C$ , или с минимальным временем изготовления детали  $T$ , или с минимальной взвешенной линейной комбинацией времени и себестоимости изготовления:  $k_1T + k_2C$ , где  $k_1, k_2$  – весовые коэффициенты. Структурная схема определения набора станков для одной операции приведена на рис. 2.

Необходимая информация о деталях хранится в базе данных деталей, а о технических средствах и оборудовании – в базе данных о станочном парке.

На основе структурной схемы проектирования технологического процесса (рис. 2) разработана четырехслойная ассоциативная память,

которая позволяет запомнить цепочки ассоциативных данных (рис. 3) и обеспечивает получение набора оборудования для каждой операции технологического процесса.

Таблица

Базовая операционная карта для первых 7 операций технологического процесса изготовления детали

№ операции	Название операции	Содержание перехода
1	Ножовочно-отрезная	1. Отрезать от прутка заготовку (поверхность 1). 2. Заправить концы.
2	Токарная (черновая)	1. Подрезать торец 1 (поверхность 1). 2. Точить поверхность 2.
3	Токарная (получистовая)	1. Подрезать торец 1. 2. Точить поверхность 2. 3. Переустановить деталь. 4. Центровать торец 1. 5. Сверлить отверстие 3 (поверхность 3).
4	Токарно-револьверная (чистовая)	1. Подрезать торец 1. 2. Переустановить деталь. 3. Центровать торец 1. 4. Сверлить отверстие 1 (поверхность 8). 5. Точить поверхность 2.
5	Промывка	1. Промыть деталь.
6	Токарная (черновая)	1. Подрезать торец 2 (поверхность 4). 2. Подрезать торец 3 (поверхность 5).
7	Токарная с ЧПУ	1. Точить поверхности 1, 7, 8. 2. Подрезать торец 2. 3. Расточить отверстие 3.

Четырехслойная ассоциативная память состоит из четырех слоев нейронов, каждый из которых содержит нейроны, запоминающие и определяющие ассоциации, и управляющие нейроны. Все нейроны каждого слоя связаны с нейронами, определяющими ассоциации, следующего слоя однонаправленными связями. Последний слой не содержит управляющих нейронов.

Сеть функционирует согласно двум алгоритмам: обучения и распознавания. Процесс обучения сети состоит из определения обучающей выборки и построения матриц весовых коэффициентов ассоциативной памяти.

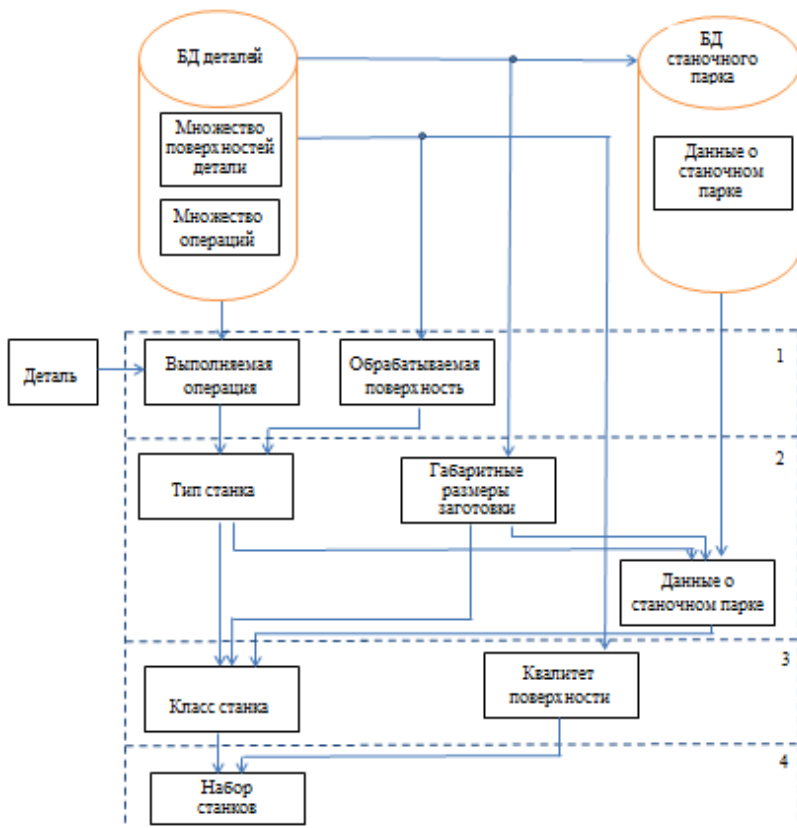


Рис. 2. Структурная схема проектирования технологического процесса для одной операции: 1 – блок получения исходных данных, 2 – блок для определения типа станка, 3 – блок для определения класса станка, 4 – блок для определения набора станков

Изображенная на рис. 3 сеть имеет входной слой нейронов, который состоит из  $X$ -нейронов, на входы которых подается информация о выполняемой операции, и управляющих нейронов  $R_1, \dots, R_{p_0}$ , на входы которых подается информация о виде обрабатываемой поверхности.  $X$ -нейроны связаны с  $Z^1$ -нейронами связями с весами  $W_{11}^{11}, \dots, W_{ng1}^{11}$ , а управляющие нейроны  $R_1, \dots, R_{p_0}$  – связями с весами  $W_{11}^{12}, \dots, W_{p_0g1}^{12}$ .

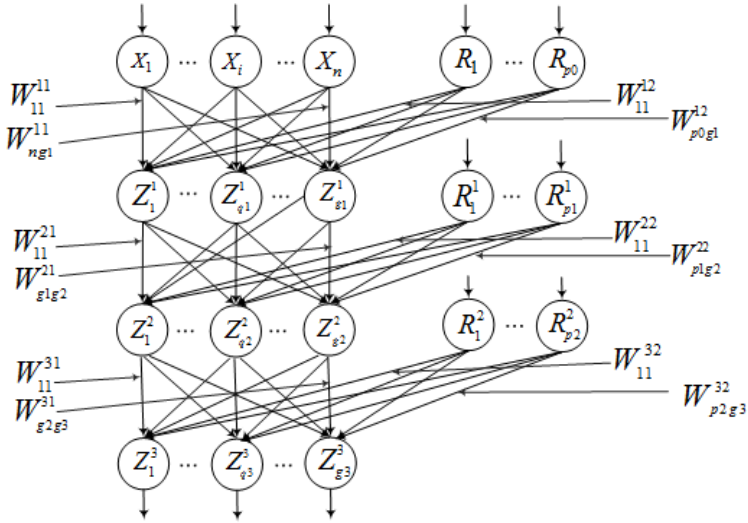


Рис. 3. Четырехслойная ассоциативная память

В результате работы  $Z^1$ -нейронов сети определяется тип станка.  $Z^1$ -нейроны связаны с  $Z^2$ -нейронами связями с весами  $W_{11}^{21}, \dots, W_{g1g2}^{21}$ . Управляющие нейроны  $R_1^1, \dots, R_{p1}^1$  связаны с  $Z^2$ -нейронами связями  $W_{11}^{22}, \dots, W_{p1g2}^{22}$ . На вход  $Z^2$ -слоя сети подаются данные о типе станка, а на входы управляющих нейронов  $R_1^1, \dots, R_{p1}^1$  – о габаритных размерах заготовки и станочном парке для каждой операции. В результате на выходе  $Z^2$ -слоя определяется класс станка, данные о котором являются входным вектором для  $Z^3$ -слоя НС. На этот же слой с помощью управляющих нейронов  $R_1^2, \dots, R_{p2}^2$  подается сигнал о качестве поверхности. Управляющие нейроны  $R_1^2, \dots, R_{p2}^2$  связаны с  $Z^3$ -нейронами связями с весами  $W_{11}^{32}, \dots, W_{p2g3}^{32}$ . На выходе  $Z^3$ -слоя получают данные о группе станков, которые могут выполнить необходимую операцию.

Выбор конкретного станка для любой операции зависит не только от характеристик станка, но и от станков, которые будут использоваться при

выполнении следующих операций, поскольку переход от одного станка к другому требует временных и материальных затрат. Поэтому поиск оптимального маршрута прохождения детали необходимо выполнять после определения наборов станков для каждой операции.

Набор оборудования для каждой операции, полученный в результате работы нейронной сети, представим в виде графа (рис. 4), где каждый слой графа – это набор станков для одной операции, вершина – это станок в станочном парке, а вес ребра – затраты на выполнение операции и переход от станка к станку.

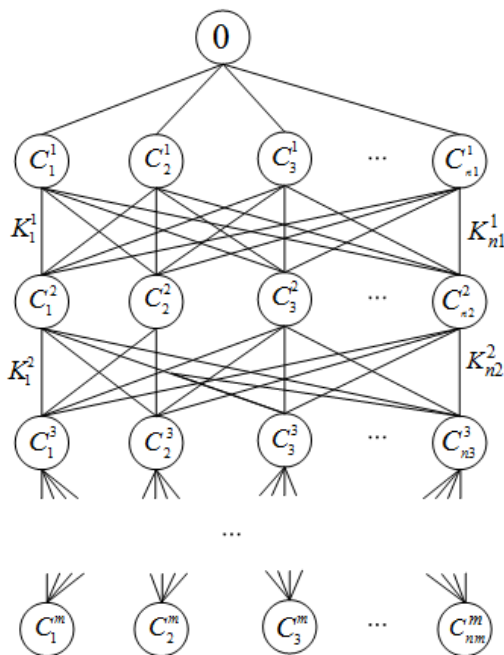


Рис. 4. Граф переходов между станками:  $C_1^1, C_2^1, C_3^1, \dots, C_{n1}^1$  – станки, которые могут выполнять первую операцию;  $C_1^2, C_2^2, C_3^2, \dots, C_{n2}^2$  – станки, которые могут выполнять вторую операцию;  $C_1^3, C_2^3, C_3^3, \dots, C_{n3}^3$  – станки, которые могут выполнять третью операцию;  $C_1^m, C_2^m, C_3^m, \dots, C_{nm}^m$  – станки, которые могут выполнять  $m$ -ю операцию,  $K_1^1, \dots, K_{n1}^1, K_1^2, \dots, K_{n2}^2$  – веса ребер графа.

Разработана компьютерная программа, которая моделирует архитектуру и алгоритмы функционирования многослойной ассоциативной памяти и которая позволяет получить набор необходимого оборудования для каждой операции технологического процесса.

Оптимальный маршрут в графе находится по алгоритму Дейкстры и представлен в виде последовательности станков для изготовления детали. Маршрут изготовления детали меняется в зависимости от критерия. Поскольку при реальном производстве некоторые из станков могут быть загружены изготовлением других деталей или находиться на профилактике или ремонте, то рассчитанный заранее технологический процесс может пересчитываться перед началом изготовления детали или даже во время ее изготовления.

**Выводы.** Таким образом, впервые на основе разработанной четырехслойной ассоциативной памяти с управляющими нейронами предложен метод синтеза технологических процессов выполнения как отдельных операций, так и полного технологического процесса изготовления деталей.

**Список литературы:** 1. Капустин Н.М. Автоматизация машиностроения / Н.М. Капустин, Н.П. Дьякова, П.М. Кузнецов // Под ред. Н.М. Капустина. – М.: Высшая школа, 2004. – 415 с. 2. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования / И.П. Норенков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 215 с. 3. Chien W.T. The predictive model for machinability of 304 stainless steel / W.T. Chien, C.Y. Chou // Journal of Materials Processing Technology. – 2001. – № 118. – Р. 442-447. 4. Петраков Ю.В. Теорія автоматичного управління в металообробці: навч. посібник / Ю.В. Петраков. – К.: ІЗМН, – 1999. – 212 с. 5. Вороненко В.П. Автоматизированное производство / В.П. Вороненко, А.Г. Схиртладзе, В.П. Брюханов. – М.: Высшая школа, 2001. – 304 с. 6. Иващенко И.А. Автоматизированное проектирование технологических процессов изготовления деталей двигателей летательных аппаратов / И.А. Иващенко, Г.В. Иванов, В.А. Мартынов. – М.: Машиностроение, 1992. – 336 с. 7. Гончаров П.С. NX для конструктора-машиностроителя / П.С. Гончаров, М.Ю. Ельцов, С.Б. Коршиков, И.В. Лантев, В.А. Осипов. – М.: ИД ДМК Пресс, 2010. – 504 с. 8. Торон Д.Н. Teamcenter. Начало работы / Д.Н. Торон, В.В. Терликов. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 280 с. 9. Троицки Я.Н. Система автоматизированного проектирования управляющих программ для станков с ЧПУ. Техтран. Версия 4.4: Фрезерная обработка: учеб. пособие / Я.Н. Троицкий, Е.В. Шинкоренко, В.И. Каплин, А.В. Гуцин. – Новосибирск.: НГТУ, 2005. – С. 32. 10. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – М.: Изд. дом "Вильямс", 2006. – 1104 с. 11. Kosko B. Optical bi-directional associative memories / B. Kosko // SPIE Proceedings: Image Understanding, 1987. – 758. – P. 11-18.

**Bibliography (transliterated):** 1. Kapustin N.M. Avtomatizatsiya mashinostroeniya / N.M. Kapustin, N.P. Dyakova, P.M. Kuznetsov // Pod red. N.M. Kapustina. – M.: Vysshaya shkola, 2004. — 415 s. 2. Norenkov I.P. Osnovyi avtomatizirovannogo proektirovaniya / I.P. Norenkov. – M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2000. – 215 s. 3. Chien W.T. The predictive model for machinability of 304 stainless steel / W.T. Chien, C.Y. Chou // Journal of



Materials Processing Technology. – 2001. – № 118. – P. 442-447. **4.** *Petrakov Yu.V.* Teoriya avtomatichnogo upravlinnya v metaloobrobtstI: navch. posIbnik / *Yu.V. Petrakov*. – K.: IZMN, – 1999. – 212 s. **5.** *Voronenko V.P.* Avtomatizirovannoe proizvodstvo / *V.P. Voronenko, A.G. Shirtladze, V.P. Bryuhanov*. – M.: Vysshaya shkola, 2001. – 304 s. **6.** *Ivaschenko I.A.* Avtomatizirovannoe proektirovanie tehnologicheskikh protsessov izgotovleniya detaley dvigateley letatelnykh apparatov / *I.A. Ivaschenko, G.V. Ivanov, V.A. Martynov*. – M.: Mashinostroenie, 1992. – 336 s. **7.** *Goncharov P.S.* NX dlya konstruktora-mashinostroitelya / *P.S. Goncharov, M.Yu. Eltsov, S.B. Korshikov, I.V. Laptev, V.A. Osiyuk*. – M.: ID DMK Press, 2010. – 504 s. **8.** *Torop D.N.* Teamcenter. Nachalo raboty / *D.N. Torop, V.V. Terlikov*. – M.: DMK Press, 2011. – 280 s. **9.** *Troitski Ya.N.* Sistema avtomatizirovannogo proektirovaniya upravlyayuschiy programm dlya stankov s ChPU. Tehtran. Versiya 4.4: Frezernaya obrabotka: ucheb. posobie / *Ya.N. Troitskiy, E.V. Shinkorenko, V.I. Kaplin, A.V. Guschin*. – Novosibirsk.: NGTU, 2005. – S. 32. **10.** *Haykin S.* Neyronnyye seti: polnyiy kurs / *S. Haykin*. – M.: Izd. dom "Vilyams", 2006. – 1104 s. **11.** *Kosko B.* Optical bi-directional associative memories / *B. Kosko* // SPIE Proceedings: Image Understanding. – 1987. – 758. – P. 11-18,.

*Поступила в редакцию 20.03.2015*

*Работу представил д-р техн. наук, проф. кафедры интегрированных технологий машиностроения НТУ "ХПИ" Везеуб Н.В.*

Dmitrienko Valerii, Dr.Tech.Sci., Professor  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002  
Tel.: (057) 707-61-98, e-mail: valdmitrienko@gmail.com  
ORCID ID: 0000-0003-2523-595X

Khavina Inna, Cand.Tech.Sci., Docent  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002  
Tel. (050) 100-78-16, e-mail: softi@bk.ru  
ORCID ID: 0000-0002-1856-1186

Brechko Veronika, Post Graduate Student  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002  
Tel. (066) 311-12-81, e-mail: trin\_all@mail.ru  
ORCID ID: 0000-0001-9578-2102