

УДК 658.512.4:004.8

**НЕЙРОСЕТЕВОЙ И ЛОГИКО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ МЕТОДЫ
ОПТИМИЗАЦИИ МЕЖЦЕХОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ
В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА**

С. Г. Селиванов¹, В. В. Никитин², М. В. Селиванова³, Г. Ф. Габитова⁴

¹s.g.selivanov@mail.ru, ²nikitin.str@mail.ru, ⁴galia-gabitova@mail.ru

^{1,3,4} ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

² ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение» (УМПО)

Поступила в редакцию 27.04.2013

Аннотация. Для развития автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП) на основе использования методов искусственного интеллекта разработаны метод оптимизации проектирования межцеховых технологических маршрутов. Поставлены и решены следующие задачи: модифицирована функциональная модель автоматизированной системы технологической подготовки производства; на основе использования нейронных сетей LVQ и Кохонена разработан метод кластеризации деталей ГТД для разработки межцеховых технологических маршрутов; путем использования перестановочных графов и искусственных нейронных сетей Хопфилда обоснован нейросетевой метод оптимизации в АСТПП расцеховок изделий; на основе применения названных методов разработан программный комплекс «GSG-группирование».

Ключевые слова: нейронные сети; автоматизированная система технологической подготовки производства; расцеховка; группирование.

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. № 596 «О долгосрочной государственной экономической политике» намечено увеличить долю продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей экономики в валовом внутреннем продукте к 2018 г. в 1,3 раза относительно уровня 2011 г. Наряду с этим Стратегия инновационного развития РФ на период до 2020г. (Распоряжение Правительства РФ от 8 декабря 2011 г. № 2227-р) определила, что доля предприятий промышленного производства, осуществляющих технологические инновации, вырастет до 40–50 % (в 2009 г. – 9,4%), а доля инновационной продукции в общем объеме промышленной продукции вырастет до 25–35% (в 2010 г. – 4,9 %).

Постоянное увеличение количества и сложности изделий машиностроения, расширение номенклатуры продуктовых и технологических инноваций имеет следствием увеличение трудоемкости и сложности работ по конструкторско-технологическому обеспечению производства, что увеличивает объем инженерного труда и

продолжительность работ по постановке на производство новых изделий. Практика ведущих мировых предприятий, свидетельствует о необходимости существенного сокращения как трудоемкости работ по технологической подготовке производства, так и сроков постановки на производство продукции за счет применения автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП).

Наиболее прогрессивным методом совершенствования АСТПП в настоящее время является ее интеллектуализация. Принимая во внимание то, что в функциональных моделях АСТПП центральное место занимает разработка технологических процессов, рассматриваемая в данной публикации задача оптимизации с помощью средств искусственного интеллекта межцеховых технологических маршрутов и маршрутных карт технологических процессов относится к весьма актуальным разработкам.

Целью исследования является разработка метода оптимизации межцеховых технологических маршрутов (расцеховки) и маршрутных технологических процессов изготовления дета-

лей и сборочных единиц на основе применения нейронных сетей и структурных моделей теории графов.

Практическая значимость публикации определяется возможностями использования разработанного метода в машиностроении.

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ РАЗРАБОТКИ МЕЖЦЕХОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ В АСТПП

Для определения объектов и предметов дальнейших исследований в АСТПП использовано функциональное моделирование процесса технологической подготовки производства на основе методологии *SADT* (от англ. *Structured Analysis and Design Technique*) и *IDEFO* [1] для создания не только функциональных моделей, но и для оптимизации межцеховых технологических маршрутов изготовления изделий, рис. 1.

В рамках функциональной модели для оптимизации технологических процессов можно использовать различные методы математического моделирования и оптимизации проектно-технологических решений: классический метод

дифференцирования; линейное программирование; квадратичное программирование; динамическое программирование и другие аналитические, рекурсивные, итерационные, стохастические методы. В данной публикации для решения задач разработки межцеховых технологических маршрутов в целях повышения уровня интеллектуализации АСТПП предложено использовать средства искусственного интеллекта, в частности искусственные нейронные сети и генетические алгоритмы.

При оптимизации технологических маршрутов с использованием логико-генетического метода [2] применяют сетевые графы, где указывают множество альтернативных вариантов технологических маршрутов. На графе вершины – это номера цехов (или специализированных производственных участков), а ребра показывают взаимосвязь вершин между собой, а также расстояние между цехами или производственными участками. Далее можно перейти ко второму этапу использования логико-генетического метода – оптимизации технологических маршрутов с помощью генетических алгоритмов.

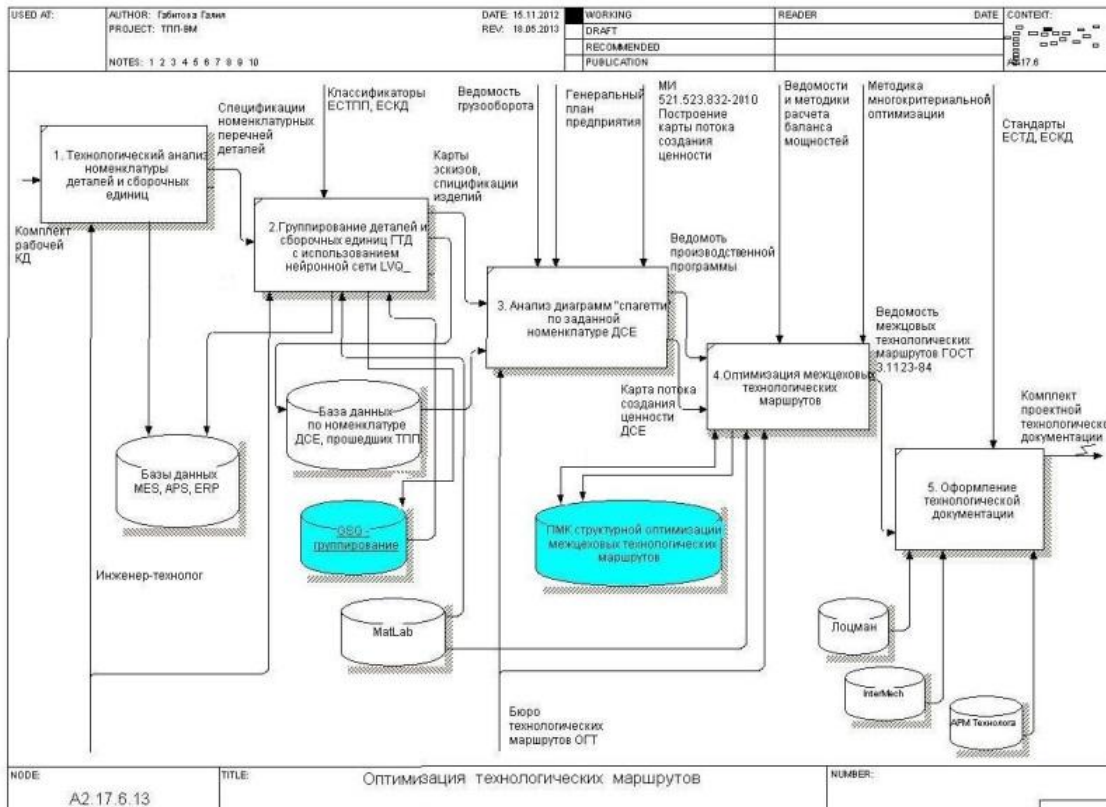


Рис. 1. Функциональная модель для разработки межцеховых технологических маршрутов изготовления изделий

При оптимизации технологических маршрутов требуется найти такой межцеховой технологический маршрут производства изделия (расцеховку), для которого суммарный грузооборот стремится к минимуму:

$$G_i = \sum l_i \cdot m_i \rightarrow \min,$$

где i – индекс, соответствующий номеру цеха; l – расстояние, m – масса детали.

В данном случае применения генетических алгоритмов [3] фенотип хромосомы представляет собой набор значений номеров цехов, иными словами, межцеховой технологический маршрут.

На этапе инициализации, формирования исходной популяции, хромосомы проверяются на выполнение условий задачи, которые были описаны выше, тем самым формируются «правильные» хромосомы, удовлетворяющие этим условиям.

Оценивание приспособленности хромосомы в популяции состоит в расчете функции приспособленности, т.е. в расчете суммарного грузооборота $G_i = \sum l_i \cdot m_i$.

Селекция хромосом производится методом рулетки [2, 3]. Суть данного метода заключается в следующем: каждой хромосоме сопоставляется сектор колеса рулетки, величина которого устанавливается пропорционально значению функции приспособленности данной хромосомы. Поэтому чем больше значение функции приспособленности, тем больше сектор на колесе рулетки и вероятности выбора данной хромосомы в качестве родителя, т. е. математической модели для дальнейшей разработки технологического процесса. В данном алгоритме используется один генетический оператор – оператор скрещивания (кроссовер), в частности одноточечный кроссовер, суть которого заключается в случайном выборе точки скрещивания (точки кроссовера) или точки разрыва, в которой обе хромосомы делятся на две части и обмениваются ими. Формирование новой популяции производится за счет объединения родителей и потомков. Алгоритм (блок-схема) данного метода представлен на рис. 2.

Условие остановки работы алгоритма имеет два варианта. Первый вариант остановки алгоритма – достижение ожидаемого оптимального значения, а второй вариант – выполнение заданного количества итерации (поколений). Если условие остановки выполнено, то происходит переход к завершающему этапу выбора «наилучшей хромосомы». Вследствие этого для ре-

шения этой задачи была разработана программа «ТПП БП», в которой решается ряд задач, связанных как с оптимизацией технологических маршрутов, так и технологических процессов [2].

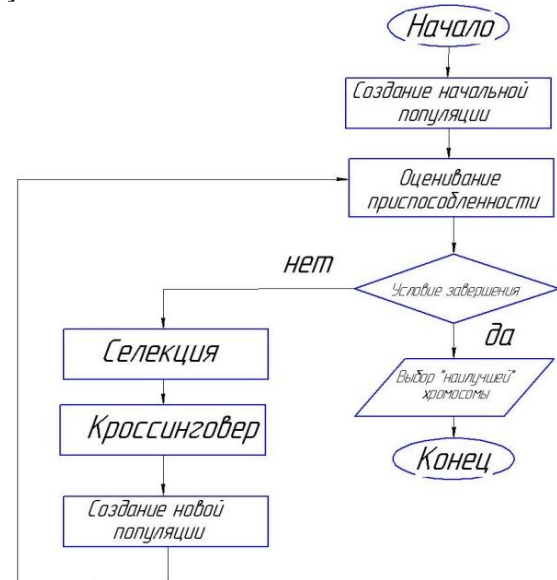


Рис. 2. Блок-схема генетического алгоритма нахождения оптимального технологического маршрута

На рис.3 представлен интерфейс данной программы, которая выполнена для решения рассмотренной оптимизационной задачи в среде программирования *MS Visual Studio 2008*, рис. 4.

Следует обратить внимание на график, который показывает условие сходимости целевой функции от числа поколений (рис. 4), который получен по результатам использования опции «Технологические маршруты». Таким образом, можно проанализировать, при каком числе поколений k будет минимальный грузооборот или достигается целевая функция. Вследствие этого можно визуальным образом определять наиболее приемлемый и оптимальный вариант межцехового технологического маршрута.

Анализ логико-генетического метода разработки межцеховых технологических маршрутов [2] показывает, что в условиях инновационного проектирования постановки на производство новых изделий решение только одной задачи – минимизации суммарного грузооборота – явно недостаточно, необходимо в условиях АСТПП использовать и другие критерии минимизации: затрат, трудоемкости, капиталовложений для многокритериальной оптимизации проектно-технологических решений.

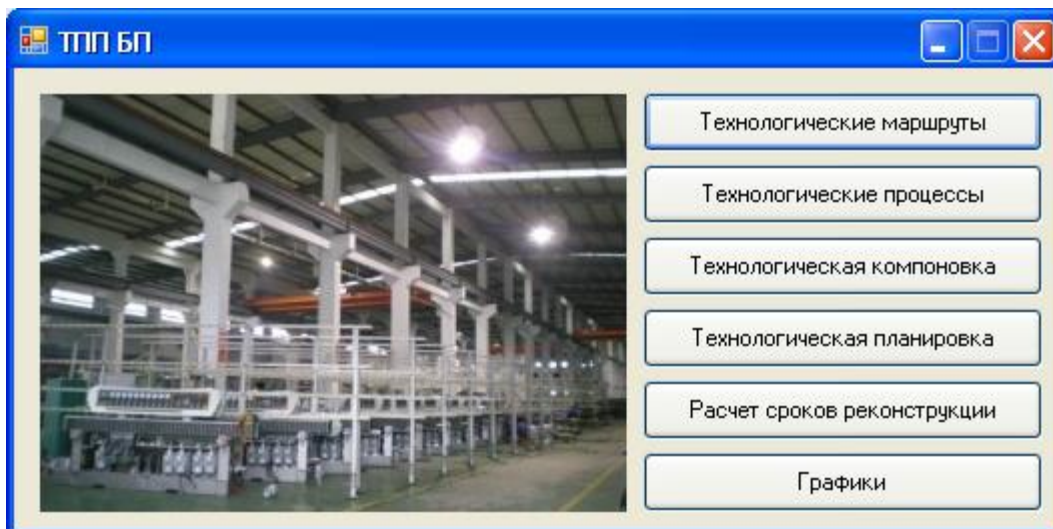


Рис. 3. Интерфейс программ «АСТПП бережливого производства» [2]

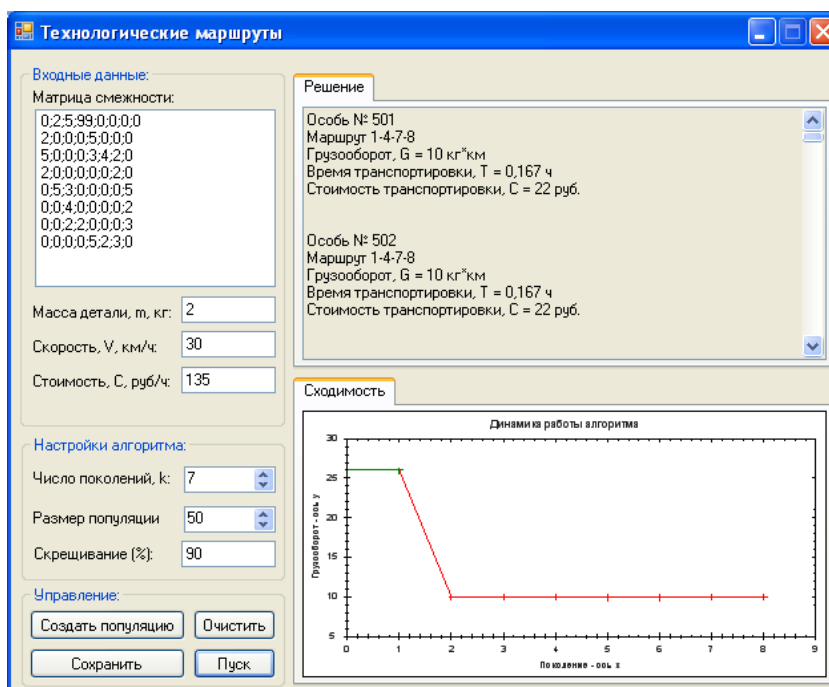


Рис. 4. Пример работы программы оптимизации технологических маршрутов на основе применения генетического алгоритма [2]

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО МЕТОДА ДЛЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ МЕЖЦЕХОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ

Многокритериальная структурная оптимизация технологических процессов, в том числе и межцеховых технологических, может быть осуществлена с помощью различных методов математического моделирования [4, 5]: динамического и линейного программирования, мето-

дов получения Парето-оптимальных решений, использования теории статистических решений и теории игр, использования экспертных систем, генетических алгоритмов, искусственных нейронных сетей и методов нечеткой логики, а также других методов системотехнического проектирования.

Не рассматривая подробно другие методы системотехнического проектирования и оптимизации технологических процессов мы только отметим, что:

- оптимизация технологического процесса (модуля операций) гальванических цехов может быть проведена с помощью использования эйлеровых графов;

- оптимизация транспортно-технологических схем перемещения тарно-штучных грузов в транспортном цехе или на центральном материальном складе может быть осуществлена с помощью дифференциальных уравнений;

- оптимизация единых технологий может быть осуществлена с использованием методов нечеткой логики из средств искусственного интеллекта и т. д.

В данной публикации для разработки нового нейросетевого метода оптимизации межцеховых технологических маршрутов предлагается рассматривать задачу многокритериальной оптимизации межцеховых технологических маршрутов (расцеховки) в качестве средства поиска глобального оптимума из локальных оптимумов, найденных вышеописанными методами. При этом каждый метод может быть использован для нахождения оптимального или Парето-оптимального значения выбранных параметров (минимумов себестоимости (S), капитальных вложений (K), величины грузооборота (G)) в пределах модулей операций (модули механических операций, модули перемещения и складирования, модули гальванических операций и т. д.).

Первоначально необходимо построить укрупненный план обработки в виде модели общеизвестного в АСТПП перестановочного графа, который относится к классу комбинаторных моделей (рис. 5).

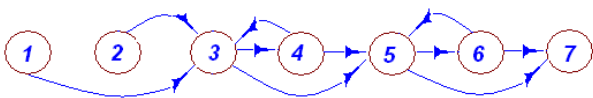


Рис. 5. Пример построения графа перестановочной модели для расцеховки изделий: 1 – литейный; 2 – кузнечный; 3 – механический; 4 – термический; 5 – сборочный; 6 – лакокрасочный цехи; 7 – испытательная станция

В качестве метода комбинаторной оптимизации для поиска глобального оптимума при движении партий изделий по цехам предприятия, которое задано графами (рис. 5, 6), предлагается использовать новый нейроструктурный метод оптимизации межцеховых маршрутов.

На рис. 6 внутри рамок каждого цеха показаны изолинии или изоповерхности с одинако-

выми значениями параметров оптимизации, например затрат (Z), капиталовложений (K), грузооборота (G), а каждая точка на такой линии представляет собой вариант технологического процесса, полученного с помощью графа (граф-дерева, сетевого графа, эйлерова графа и т. п.) иллюстрирующего структуру технологических операций производственного (технологического) процесса или модуля технологических операций данного цеха (производственного участка).

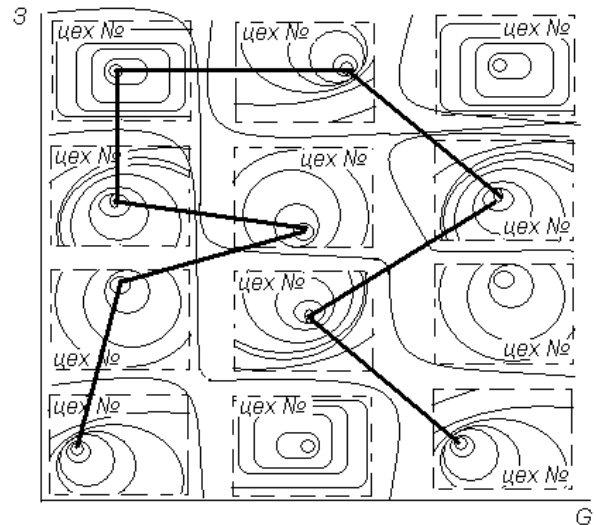


Рис. 6. Оптимизация межцехового технологического маршрута с использованием модульного принципа построения технологического процесса, перестановочных моделей и нейронной сети Хопфилда

Для применения нового гибридного нейросетевого метода, основанного на применении:

- теории графов для определения полного множества вариантов технологических маршрутов;
- нейронных сетей LVQ и Кохонена для кластеризации деталей и группирования технологических маршрутов;

- искусственных нейронных сетей Хопфилда для анализа и оптимизации расцеховок или межцеховых технологических маршрутов обработки изделий в целях создания новых предметно-замкнутых участков группового производствывыполнены описанные ниже исследования и разработки.

На первом шаге исследования выполнен сопоставительный анализ алгоритмов кластеризации и показано, что для данной задачи оптимизации межцеховых технологических маршрутов наиболее предпочтительными являются самоорганизующиеся нейронные сети, рис. 7.



Рис. 7. Классификация алгоритмов кластеризации

В частности, использование LVQ-нейронных сетей и сетей Кохонена позволяет определить группы деталей (рис. 8) с общим (групповым) технологическим маршрутом, для которых можно спроектировать участки группового производства. При этом для каждого кластера (ячейки на рис. 8) можно рассчитать ведомость приведенной производственной программы и оптимизировать с помощью рекуррентных нейронных сетей (Хопфилда, Элмана, Джордана или Розенблата с обратными связями) ведомость технологических маршрутов или маршрутную карту технологического процесса изготовления изделия-представителя группы.

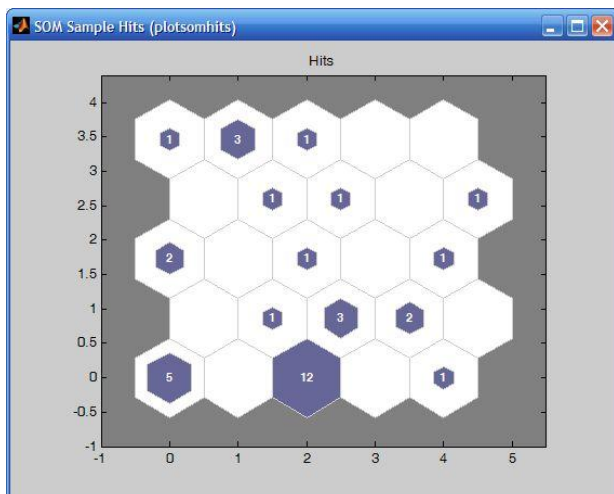


Рис. 8. График, иллюстрирующий распределение изделий по кластерам (группам)

Использование в качестве примера искусственных нейронных сетей Хопфилда (рис. 9) наглядно показывает места концентрации затрат на выполнение технологического процесса

(технологического маршрута), что позволяет выполнить известную процедуру минимизации таких затрат [4, 5].

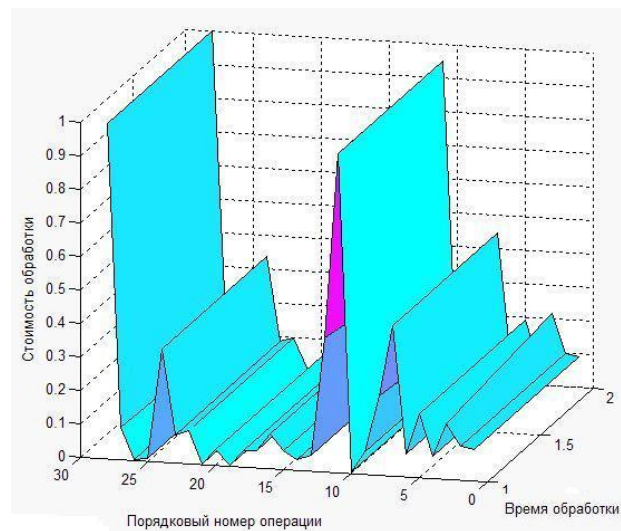


Рис. 9. Установившееся положение равновесия нейронной сети Хопфилда для маршрута обработки детали «Кольцо ПНА»

Анализ нового нейросетевого метода кластеризации на основе LVQ-сетей и нейронных сетей Кохонена позволил установить достоверность полученных результатов группирования, что подтверждает установленная зависимость авторегрессионного спектрального оценивания Берга (рис. 10) и данные о функции распределения плотности вероятностей f (рис. 11) для значений случайной величины x_i , которая получена методом непараметрического сглаживания по исходной выборке, что свидетельствует о снижении уровня ошибки при обучении нейронной сети.

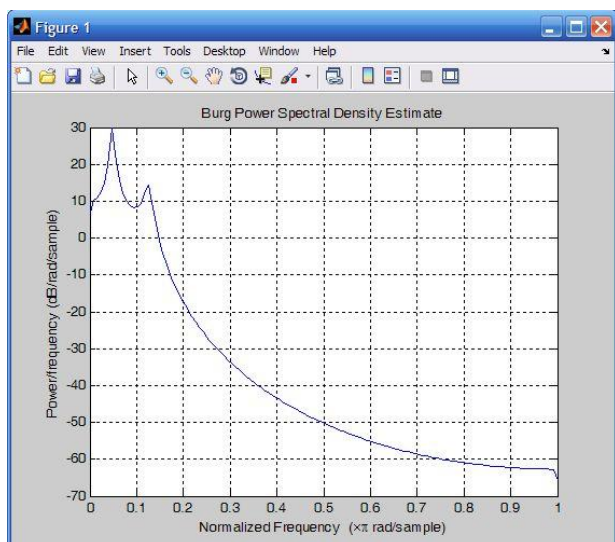


Рис. 10. Оценка результатов работы сети с использованием метода авторегрессионного спектрального оценивания Берга

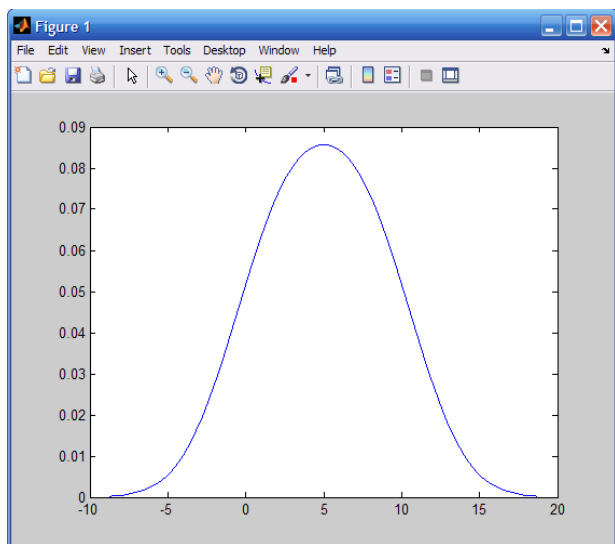


Рис. 11. Расчет значений функции распределения плотности вероятностей f для значений случайной величины x_i методом непараметрического сглаживания

При этом расчет значений функции распределения плотности вероятностей f для значений случайной величины x_i методом непараметрического сглаживания по исходной выборке x (деталей) показывает, что распределение соответствует нормальному закону.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Построенная функциональная модель разработки межцеховых технологических маршрутов (расцеховки) в автоматизированной системе технологической подготовки производства

(АСТПП) отличается тем, что она устанавливает комплекс взаимосвязанных задач, требующих оптимизации их решений на основе применения средств искусственного интеллекта.

Предложенная гибридная вычислительная система на основе нового нейросетевого метода, основанная на применении: перестановочных моделей теории графов, самоорганизующихся нейронных сетей LVQ и Кохонена, а также рекуррентной искусственной нейронной сети Хопфилда, позволяет осуществлять многокритериальную оптимизацию межцеховых технологических маршрутов по критериям минимумов себестоимости, капиталовложений и межцехового грузооборота, что имеет существенное значение для организации «бережливого производства» с помощью АСТПП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Р 50.1.028-2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. М.: Стандартинформ, 2005. 58 с.
2. Никитин В. В., Селиванов С. Г., Теплов В. С., Тормышев А. А. Логико-генетический метод оптимизации АСТПП авиадвигателестроения в условиях управления проектами «бережливого» производства // Вестник УГАТУ. 2012. Т.16, №3(48). С.63–69.
3. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия – Телеком, 2004. 452 с.
4. Селиванов С. Г., Гузаиров М. Б., Кутин А. А. Инноватика: учебник для вузов. 2-е изд. М.: Машиностроение, 2008. 721 с.
5. Селиванов С. Г., Гузаиров М. Б. Системотехника инновационной подготовки производства в машиностроении. М.: Машиностроение, 2012. 568 с.
6. Selivanov S. G., Poezjalova S. N. The automated system of scientific researches of high and critical technologies in engine-building manufacture. CSIT 2012: Proc. 14th Int. Workshop on Computer Science and Information Technologies. Ufa – Hamburg – Norwegian Fjords, Sept. 20–26, 2012. Vol. 1. P. 278–284.

ОБ АВТОРАХ

СЕЛИВАНОВ Сергей Григорьевич, проф. каф. технологии машиностроения. Дипл. инж. по автоматиз. и компл.механиз. машиностроения(УАИ, 1970). Д-р техн. наук по технол. машиностроения (Мосстанкин, 1991). Иссл. в обл. технол. подгот., реконст., организ. производства.

НИКИТИН Виталий Викторович, зам. нач. управления по развитию производственной системы. Дипл. магистр техн. и технол. (УГАТУ, 2007). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2011). Иссл. в обл. технол. подгот., реконст., организ. производства.

СЕЛИВАНОВА Марина Валерьевна, доц. каф. выч. техн. и защиты информации. Дипл. инж. по технол. машиностроения (УГАТУ, 1997). Канд. техн. наук по технол. машино-

строения (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. нейросет. алгоритмов, методов оптимизации, технол. подгот. производства.

ГАБИТОВА Галия Фанилевна, асп. каф. технологии машиностроения. Дипл. магистр-инж. по констр.-технол. подготовки машиностр. производства (УГАТУ, 2013). Иссл. в обл. применения искусств интеллекта в автоматиз. системах технол. подгот. производства.

METADATA

Title: Neuronet logic and genetic optimization methods inter-departmental process routes in automated systems production planning.

Authors: S. G. Selivanov¹, V. V. Nikitin², M. V. Selivanova³, and G. F. Gabitova⁴.

Affiliation:

^{1,3,4}Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

² Ufa Engine Industrial Association (UMPO), Russia.

Email: ⁴galia-gabitova@mail.ru

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 17, no. 5 (58), pp. 55-62, 2013. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: In this study for the development of an automated system of technological preparation of manufacture (CAM) based on the use of artificial intelligence techniques developed a method for optimizing the design of inter-departmental process flows. The work and solved the following problems: modified functional model of the automated system of technological preparation of production, based on the use of neural networks and Kohonen LVQ clustering method developed by GTE parts for the development of interdepartmental process flows, by using permutation graphs and artificial neural network Hopfield neural network Nova substantiation method optimization rastsehovok CAM products; through the application of these methods developed software package «GSG-grouping».

Key words: neural networks; automated system of technological preparation of production; rastsehovka; grouping.

References (English transliteration):

1. *Information technology support for product lifecycle*, standard P 50.1.028-2001, (in Russian). Moscow: Standartinform, 2005.
2. V. V. Nikitin, S. G. Selivanov, and A. A. Myshev, "Logical-genetic optimization method aeroengine in project management «lean» production," *Vestnik UGATU*, vol. 16, no. 3 (48), pp. 63-69, 2012.
3. D. Rutkovska, M. Pilinsky, and L. Rutkowski, *Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems*, (in Russian). Moscow: Goryachaya liniya – Telecom, 2004.
4. S. G. Selivanov, M. B. Guzairov, and A. A. Kutin, *Innovation: Textbook for high schools*, (in Russian), 2nd ed. Moscow: Mashinostroenie, 2008.
5. S. G. Selivanov and M. B. Guzairov, *System engineering of innovative pre-production in machine-building*, (in Russian). Moscow: Mashinostroenie, 2012.
6. S. G. Selivanov and S. N. Poezjalova, "The automated system of scientific researches of high and critical technologies in engine-building manufacture," (in Russian), in *Proc. 14th Int. Workshop on Computer Science and Information Technologies CSIT 2012*, Ufa – Hamburg – Norwegian Fjords, Sept. 20–26, 2012, vol. 1, pp. 278-284.

About authors:

SELIVANOV, Sergey Grigoryevich, prof. Department. engineering technology. Dipl. Engineer Automation and Integrated Mechanization Engineering (AIM, 1970). Dr. Sc. Science in Mechanical Engineering (Mosstankin, 1991). Research in the region. technological training, rehabilitation, organization of production.

NIKITIN, Vitaliy Viktorovich, PhD, deputy chief Agency for Development of the production system. Dipl. Master of Engineering and Technology (USATU, 2007). Research in the region technological training, rehabilitation, organization of production.

SELIVANOVA, Marina Valeryevna, Assoc. Department. computing technology and information security. Dipl. engineer in mechanical engineering (USATU, 1997). Candidate. Tech. Science in Mechanical Engineering (USATU, 2000). Research in the region. neural network algorithms, optimization methods, technological preparation of production.

GABITOVA, GaliaFanilevna, Postgrad. (PhD) of mechanical engineering, Dipl. Master Engineer areas of design and technological preparation of engineering production, research in the application of artificial intelligence in the Automated system of technological preparation of production.