

Сарилов М.Ю., Биленко С.В., Алтухова В.В., Линеv А.С.
ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Сарилов М.Ю., Биленко С.В., Алтухова В.В., Линеv А.С.
M.Y. Sarilov, S.V. Bilenko, V.V. Altukhova, S.A. Linev

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

ARTIFICIAL NEURON NETWORKS IN ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING CONTROL SYSTEMS



Сарилов Михаил Юрьевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Машины и аппараты химических производств» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. E-mail: sarilov@knastu.ru.

Mr.Mikhail Y.Sarilov – Doctor of Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Chemical Production Machinery and Equipment, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur). E-mail: sarilov@knastu.ru.



Биленко Сергей Владимирович – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. E-mail: s.bilenko@knastu.ru.

Mr.Sergey V.Bilenko – Doctor of Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur), e-mail: s.bilenko@knastu.ru.



Алтухова Виктория Викторовна – старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. E-mail: kaftm@knastu.ru.

Ms.Victoriya V.Altukhova – Senior Lecturer of the the Department of Mechanical Engineering Technology, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur), e-mail: kaftm@knastu.ru.



Линеv Александр Сергеевич – бакалавр техники и технологии, магистрант Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. E-mail: kaftm@knastu.ru.

Mr.Alexander S.Linev – Bachelor of Engineering and Technology, Master's candidate, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Komsomolsk-on-Amur), e-mail: kaftm@knastu.ru.

Аннотация: Показано, что нейронные сети являются корректной информационной средой для моделирования рабочих процессов электроэрозионной обработки. Предложена методика, позволяющая оценить в режиме реального времени качество получаемой при электроэрозионной обработке поверхности и адаптивно управлять режимом обработки.

Summary: The paper shows that neural networks are a correct information environment for simulation of work processes of electrical discharge machining. A method is offered that allows for real-time evaluation of the quality of a surface resulting from electroerosive machining and for an adaptive control of machining operations.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, нейронная сеть, моделирование, качество, шероховатость, режим, акустическая эмиссия.

Keywords: electroerosive electric erosion machining, neural network, simulation, quality, roughness, operation, acoustic emission.

УДК 621.9.048.4:681.324

В случаях, когда технологические процессы носят принципиально нестационарный характер, как, например, в условиях электроэрозионной обработки (ЭЭО), системы управления технологическим оборудованием должны обеспечивать высокую надежность и производительность. Одним из наиболее качественных способов решения задач поиска оптимальных параметров технологического процесса по критериям точности и качества в зависимости от условий обработки является применение систем адаптивного управления. Систематизировать процесс построения систем управления позволяет применение принципа самоорганизации и методов искусственного интеллекта [1]. Использование алгоритмов искусственного интеллекта открывает возможность осуществления более современного подхода к решению данной проблемы в электроэрозионной обработке. Перспективной структурой в классе адаптивных систем управления технологическими режимами ЭЭО является система, в которой реальный процесс и модель процесса располагаются в контуре управления последовательно (см. рис. 1). Такие системы базируются на диагностических моделях процесса и реализуют поисковый алгоритм адаптивного управления. Эффективным математическим механизмом обобщения и распознавания могут служить искусственные нейронные сети (ИНС).

Нейронные сети открыли новые возможности в области распознавания образцов, принятия решений и решения задач в различных областях техники. Способность к моделированию нелинейных процессов, работе с зашумленными данными и адаптивность дают возможность применять нейронные сети для решения широкого класса задач. Именно нейронные сети служат физической реализацией искусственного интеллекта.



Рис. 1. Структурная схема построения адаптивного управления процессом электроэрозионной обработки: $\bar{U}(\tau)$ – вектор управления; $\bar{\xi}(\tau)$ – вектор возмущающих воздействий; $\bar{X}'(\tau)$ – вектор предполагаемых значений выходных параметров процесса; $\bar{\Psi}(\tau)$ – вектор физически измеримой информации в процессе

Нейросеть может быть достаточно формально определена как совокупность простых процессорных элементов, часто называемых нейронами. Каждый искусственный нейрон обладает группой синапсов – однонаправленных входных связей, соединенных с выходами других нейронов, а также имеет аксон – выходную связь данного нейрона, с которой сигнал поступает на синапсы следующих нейронов. Каждый синапс характеризуется величиной синаптической связи или ее весом, который по физическому смыслу эквивалентен электрической проводимости. Текущее состояние нейрона определяется как взвешенная сумма его входов:

$$Y = F \cdot \sum_{i=1}^n X_i w_i.$$

При моделировании ИНС с помощью ЭВМ нейрон обычно представляют в виде массива ячеек $[w_1, w_2, \dots, w_n]$, хранящихся в памяти компьютера, функционирование нейрона эмулируется путем программы подсчета выходной величины Y по значению входов X_1, X_2, \dots, X_n [3; 4].

Нелинейная функция F называется активационной и может иметь различный вид. Следует отметить важную роль нелинейности активационной функции, так как, если бы она не обладала данным свойством, то вся работа нейронной сети как совокупности нейронов сводилась бы к формированию на выходах сети тривиальной линейной комбинации ее входных значений [1].

Процесс функционирования ИНС, то есть сущность действий, которые она способна выполнять, зависит от величин синаптических связей, поэтому, задавшись определенной структурой ИНС, разработчик сети должен найти оптимальные значения всех переменных весовых коэффициентов. Этот этап называется обучением ИНС и от того, насколько качественно он будет выполнен, зависит способность сети решать поставленные перед ней проблемы во время эксплуатации. На этапе обучения кроме параметра качества подбора весов важную роль играет время обучения. Как правило, эти два параметра связаны обратной зависимостью и их приходится выбирать на основе компромисса.

Перспективным направлением комплексного изучения эрозионных, тепловых и гидродинамических процессов и механизма образования поверхностного слоя заготовки является системный энергетический подход [5; 6; 7], согласно которому процесс электроэрозионной обработки следует рассматривать как систему диссипативных процессов (см. рис. 2), описываемую энергетическим уравнением. В этом случае энергии, происходящих при обработке процессов, являются компонентами системы, а сигнал виброакустической эмиссии (ВАЭ), излучаемый в процессе обработки, следует рассматривать как отображение внутреннего состояния системы. Каждая из компонент системы имеет свои свойства и характер по-

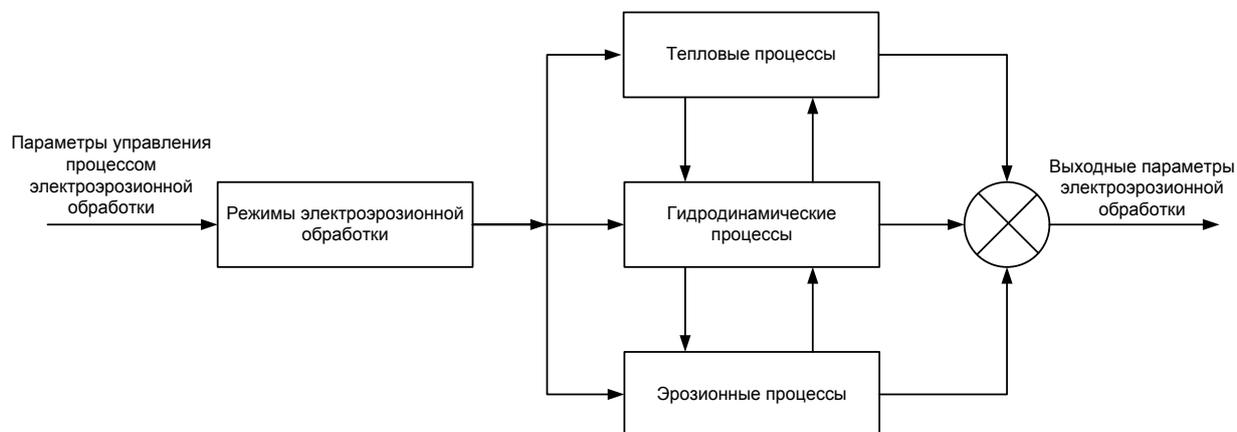


Рис. 2. Схема процесса ЭЭО в виде системы диссипативных процессов

ведения. Если все возможные проявления системы сводятся к сумме проявлений ее компонент, то такая система является простой. Для описания простых систем традиционно применяются методы анализа, состоящие в последовательном расчленении системы на компоненты и построении моделей все более простых элементов. Таковым в своей основе является метод математического моделирования, в котором модели описываются в форме уравнений, а предсказание поведения системы основывается на их решении.

Практика показывает, что существенным недостатком подобного подхода является неудовлетворительная точность (неадекватность) моделей. Подавляющее большинство технологических процессов ЭЭО не может быть представлено в виде простых систем. Тесная взаимосвязь процессов, происходящих в зоне обработки, повышает сложность системы, формализуя процесс обработки до такого уровня, когда наблюдаемое поведение и свойства системы не сводятся к простой сумме свойств отдельных ее компонент. В системе возникают качественно новые свойства, которые не могут быть установлены посредством обобщенного изучения процессов. Выходом из этого положения является построение модели на основе синтеза компонент. Основным принципом синтетического информационного моделирования является принцип «черного ящика». В противоположность аналитическому подходу, при котором моделируется внутренняя структура системы, в синтетическом методе «черного ящика» моделируется внешнее функционирование системы. Функционирование системы в рамках синтетической модели описывается чисто информационно, на основе результатов экспериментов. В качестве «черного ящика» следует рассматривать совокупность взаимосвязанных диссипативных процессов, происходящих в зоне обработки. Входными данными модели являются сигналы ВАЭ, излучаемые процессом ЭЭО, а на выходе получим предполагаемые значения зависимых параметров ЭЭО – степень износа инструмента, температуру в зоне обработки, зашлакованность зоны обработки. Информационные модели, как правило, проигрывают формальным математическим моделям и экспертным системам по степени объяснимости выдаваемых результатов, однако отсутствие ограничений на сложность моделируемых систем определяет их важную практическую значимость. Задачи, решаемые с помощью информационного моделирования, не ограничиваются только диагностикой внутреннего состояния сложных технических систем. Синтетические информационные модели способны также прогнозировать динамику изменения системы, оценивать полноту описания исходной системы и сравнивать информационную значимость ее параметров. Удобным и естественным базисом для представления информационных моделей являются искусственные нейронные сети. В литературе [3] приведены доказательства того, что для любого алгоритма существует нейронная сеть, которая его реализует. Универсальную методику построения нейросетевых моделей процесса электроэрозионной обработки на базе ИНС встречного распространения можно описать следующим образом [2]:

Шаг 1: Формирование обучающей выборки, характеризующей широкий спектр условий протекания технологического процесса и состоящей из векторов $\psi(\tau_j)$ доступной для физического измерения диагностической информации о процессе и соответствующих им векторов выходных параметров процесса $X(\tau_j)$.

Шаг 2: Обобщение и классификация входных образов $\psi(\tau_j)$ диагностической информации с целью определения множества $\Theta(\Psi)$ возможных фазовых состояний технологического процесса путем самообучения слоя Кохонена.

Шаг 3: Сопоставление каждого отдельно взятого фазового состояния Θ_k процесса с наиболее вероятными значениями его выходных параметров X_k' путем обучения слоя Гроссберга.

Для диагностирования качества обработанной поверхности и устойчивости процесса ЭЭО была разработана нейросетевая модель. Эта модель позволяет в режиме реального времени оценить мгновенные значения степени износа инструмента, зашлакованность и диагностировать шероховатость получаемой поверхности по сигналам ВАЭ. Оценка мгновенных значений зави-

симых параметров обработки основывается на структурно-энергетическом представлении процесса ЭЭО в виде системы диссипативных процессов, описываемой энергетическим уравнением. Предполагается, что каждый из рассмотренных процессов сопровождается виброакустическими колебаниями определенной амплитуды и спектральной плотности. Суммарный сигнал ВАЭ представляет собой суперпозицию колебаний, характеризующих каждое из составляющих, и является отображением внутреннего состояния процесса ЭЭО.

Таким образом, задача моделирования каждого из параметров сводится к созданию обучающей выборки сигналов ВАЭ, характеризующей фазовые переходы процесса ЭЭО (явные или размытые) в связи с изменением контролируемой величины, и соответствующего обучения нейронной сети. Обучающие выборки для нейросетевых диагностических моделей, как правило, формируются на основе однофакторных экспериментов. Спроектированная трехслойная нейронная сеть, позволяющая повысить устойчивость процесса ЭЭО и, как следствие, улучшить качество обработанных поверхностей, представлена на рис. 3.

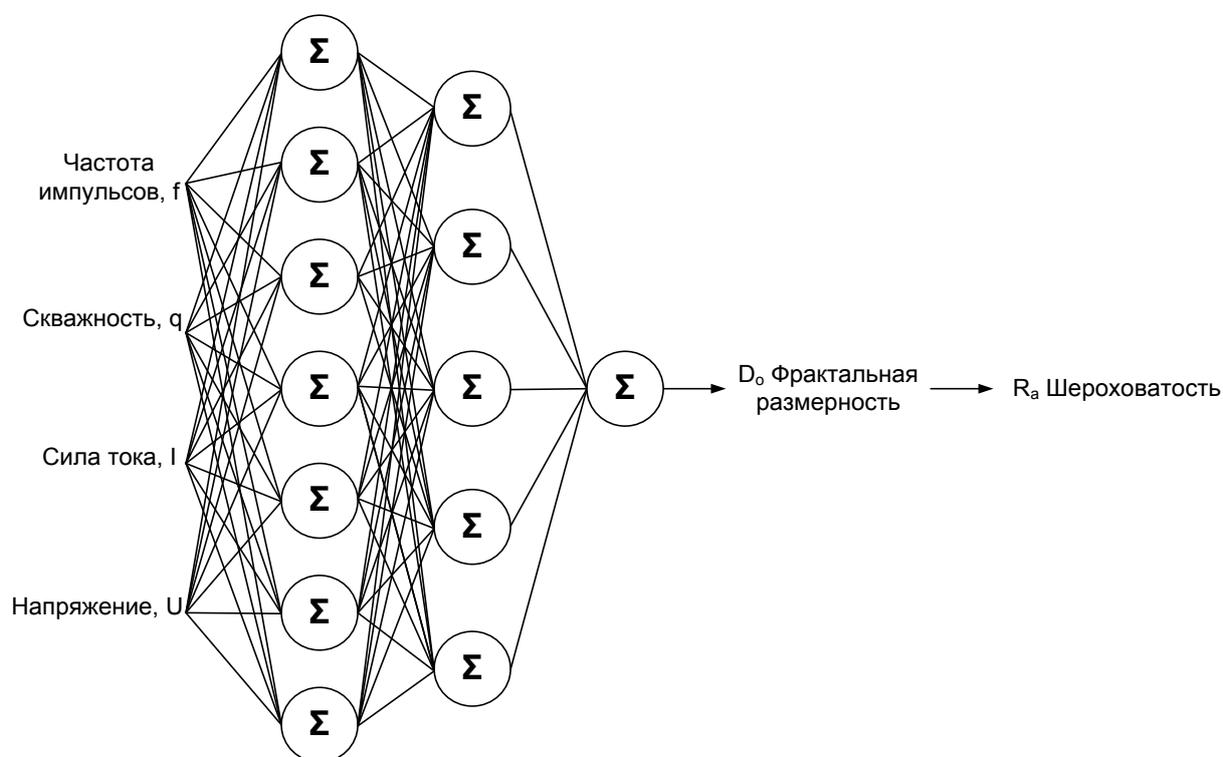


Рис. 3. Трехслойная нейронная сеть управления процессом ЭЭО

На вход системы подаются частота импульсов f , скважность q , сила тока I и напряжение U , а выходом является фрактальная размерность сигналов ВАЭ D_0 , которая является критерием устойчивости процесса и показателем получаемой шероховатости при электроэрозионной обработке.

На рис. 4 представлена блок-схема исследовательского стенда по реализации искусственных нейросетей при электроэрозионной обработке, созданная в лаборатории технической диагностики Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета.

В рамках задач искусственного интеллекта с применением методов оптимизации важная роль отводится использованию генетических алгоритмов, то есть определенным образом построенные комбинации переборных и градиентных методов. Эти алгоритмы обладают высокой способностью к сходимости в процессе нахождения оптимума. Для обеспечения функционирования системы оптимального управления необходимо предусмотреть в составе системы альтернативный механизм поиска оптимального режима обработки, которым может быть экспертная система, основанная на базе знаний.

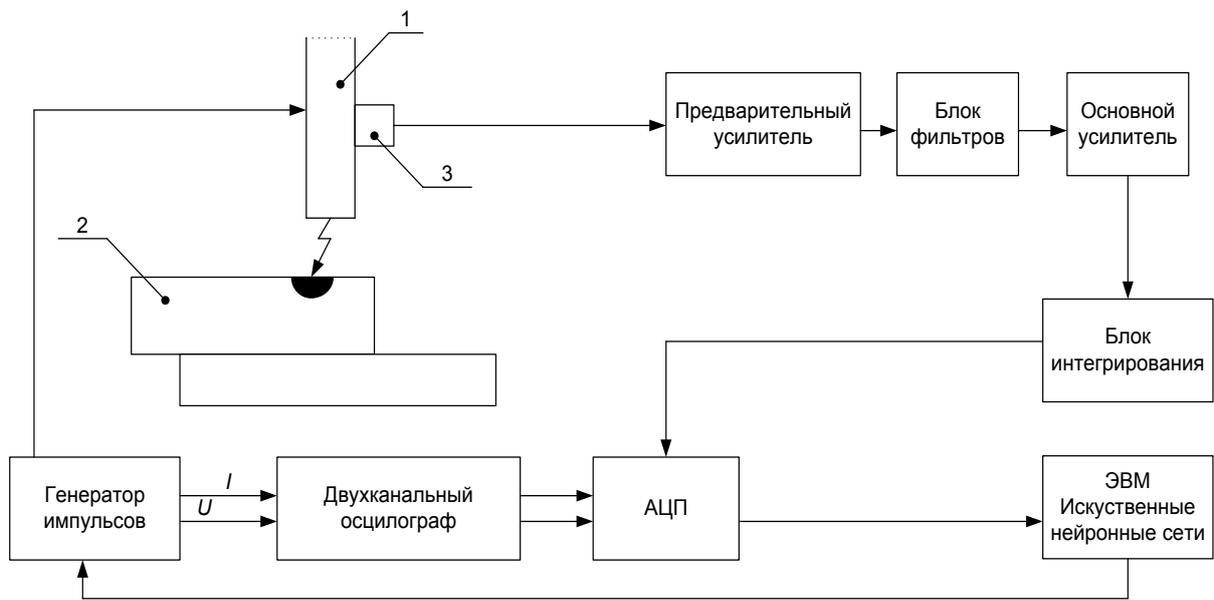


Рис. 4. Блок-схема исследовательского стенда: 1 – электрод-инструмент; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – виброакустический датчик

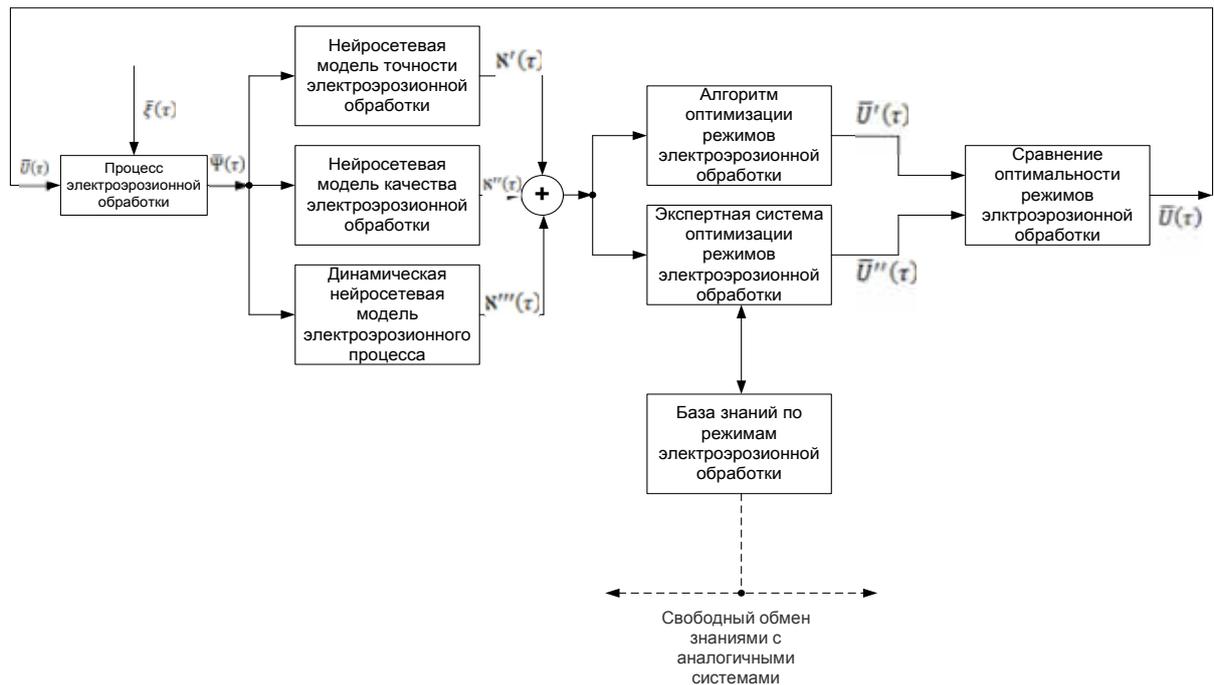


Рис. 5. Структурная схема системы адаптивного управления электроэрозионным станком, построенная на основе принципов искусственного интеллекта

Методы оптимизации режимов электроэрозионной обработки на основе генетических алгоритмов, при всей их приближительной точности в нахождении оптимума, обладают способностью работать в условиях минимального количества априорной информации о характере процесса. Поэтому логичным подходом к построению адаптивной системы управления

электроэрозионными процессами является совместное использование в контуре поиска оптимального режима и генетического алгоритма и экспертной системы. Такой подход позволяет конструировать системы управления электроэрозионными станками с ЧПУ, способные эффективно функционировать, особенно в условиях серийного и массового производства.

Структура системы управления станком, построенная на основе принципов искусственного интеллекта, представлена на рис. 5 и обладает всеми необходимыми компонентами интеллектуально устройства. Это набор диагностических нейросетевых моделей.

Кроме того, система содержит совокупность встроенных знаний, позволяющих функционировать в совершенно незнакомых условиях начала обработки новой партии деталей, реализованную в виде алгоритма оптимизации режимов. Также в состав системы входит механизм накопления опыта и усовершенствования собственных знаний, роль которого выполняет самообучающаяся экспертная система. Важной особенностью предлагаемой системы управления электроэрозионным станком является ее открытость для свободного обмена информацией и знаниями с внешней средой, для ускорения сбора информации о наиболее оптимальных режимах электроэрозионной обработки в условиях массового и серийного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кабалдин, Ю.Г. Управление динамическими процессами в технологических системах механообработки на основе искусственного интеллекта / Ю.Г. Кабалдин, С.В. Биленко, С.В. Серый. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2003. – 201 с.
2. Кабалдин, Ю.Г. Применение принципа самоорганизации и методов искусственного интеллекта в задачах синтеза систем управления технологическими процессами / Ю.Г. Кабалдин, С.В. Биленко, А.М. Шпилев, А.А. Бурков // Материалы международной научной конференции «Синергетика. Самоорганизующиеся процессы в технологиях и системах». – Комсомольск-на-Амуре, 2000. – С. 41-44.
3. Иванова, В.С. Синергетика и фракталы в материаловедении / В.С. Иванова, А.С. Баланкин, И.Ж. Бунин, А.А. Оксогоев. – М.: Наука, 1994. – 383 с.
4. Иванова, В.С. От дислокаций до фракталов: сборник тезисов докладов / В. С. Иванова. – М.: ФИПС, 1999. – С. 15-17.
5. Мицкевич, М.К. Электроэрозионная обработка материалов / М. К. Мицкевич, А. И. Бушин, И. А. Бакуто и др.; под ред. И. Г. Некрашевича. – Минск: Наука и техника, 1988. – 216 с.
6. Лифшиц, А.Л. Электроимпульсная обработка металлов / А.Л. Лифшиц, А.Т. Кравец, И.С. Рогачев, А.Б. Сосенко. – М.: Машиностроение, 1967. – 198 с.
7. Золотых, Б.Н. Физические основы электроэрозионной обработки / Б.Н. Золотых, Р.Р. Мельдер. – М.: Машиностроение, 1977. – 42 с.