

УДК 621.9.047:004

## КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ НАСТРОЙКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СТАНКОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ РАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

А. С. ДАВЛЕТБАЕВ<sup>1</sup>, Г. Г. КУЛИКОВ<sup>2</sup>, Ю. В. СТАРЦЕВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> DavASko01@mail.ru, <sup>2</sup> gennadyg\_98@yahoo.com, <sup>3</sup> startcevy@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 24.06.2016

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы построения и организации интеллектуальной системы поддержки принятия решений по настройке станков с ЧПУ для электрохимической размерной обработки (ЭХРО). Приводятся концептуальные схемы построения системы, ее состава и принципа работы. Приведены результаты предварительного тестирования системы, приведено описание предметной области использования системы. Показаны структуры процессов настройки станков.

**Ключевые слова:** экспертная система; нейронные сети; нечеткая логика, база данных; мобильные платформы; электрохимическая размерная обработка; технологический процесс.

### ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе организации производства все чаще применяются интеллектуальные средства автоматизации производства, имеющие целью снизить долю ручного труда рабочего и увеличить эффективность интеллектуального труда технолога, а также обеспечить эффективность и повысить безопасность использования оборудования. Проведено множество исследований и испытаний по внедрению систем поддержки принятия производственных решений, как за рубежом, так и в России. Вопросы автоматизации ЭХРО с помощью интеллектуальных систем рассматриваются, например, в [1–3], но при этом внимание уделяется только конкретному оборудованию. Однако ввиду постоянного расширения парка современного технологического оборудования представляется целесообразным построение универсальной интеллектуальной системы поддержки принятия решений, которая бы позволила автоматизировать линейки модулей станков.

### АКТУАЛЬНОСТЬ

В современных условиях на производстве рабочему приходится работать с огромным количеством информации в рамках технологии, которую он использует. Это зачастую является причиной ошибок и большого времени перезапуска или перенастройки процесса, которые ве-

дут к большим затратам на производстве. Современные экспертные системы, имеющиеся в производстве, являются очень дорогими и очень узкими, нацеленными на использование только конкретного оборудования, без учета необходимости переноса опыта для использования другого подобного оборудования. В условиях реального распределенного производства с большой номенклатурой технологического оборудования концептуально необходима такая архитектура экспертной системы, при которой рабочий на производстве мог бы получать нужную ему информацию быстро и легко.

### АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Рассматриваемой предметной областью является производство с металлообрабатывающими операциями, основанными на электрохимических и электроэрозионных методах обработки металлов. Такие обрабатывающие операции реализуются на станках электрохимической и электроэрозионной обработки металлов.

Все станки имеют общую совокупность настроек и параметров, которые определяют эффективность технологического процесса (ТП) в зависимости от решаемой задачи. В отличие от станков режущего типа станки электрохимического и электроэрозионного методов имеют ряд преимуществ, в частности эффективность и бесконтактный метод обработки.

Электрохимическая обработка – метод обработки металлов, при котором происходит

съем слоев металла посредством электрохимического растворения металла в среде электролита (раствора солей) под действием электрического тока.

Электроэрозионная обработка – метод обработки металлов, при котором съем слоев металла происходит под действием электрических разрядов, возникающих между заготовкой и электродом-инструментом.

Станок – оборудование, посредством которого происходит обработка металла.

Каждый станок перед выполнением заданной операции настраивается оператором по указанию технолога, после чего запускается технологический процесс обработки заготовки.

По окончании процесса обработанная готовая деталь извлекается из станка и передается на контроль с целью определения результатов обработки. По результатам измерений определяется качество обработки и принимается решение об отбраковке заготовки.

Настройки станка – совокупность внешних условий процессов обработки на станке, которые могут быть изменены рабочим (оператором) по указаниям технолога. К ним могут относиться: максимальный ток обработки, максимальное напряжение обработки, максимальное количество осей обработки, параметры оснастки станка, материалы электродов, жесткость конструкции, количество осей обработки и др.

Параметры станка – совокупность значений, характерных для конкретного станка. С их помощью программное обеспечение станка настраивается для корректной работы исполнительных механизмов. К ним могут относиться: скорость движения электрода, параметры регуляторов в системах управления и др.

Параметры технологического процесса – совокупность значений, которые непосредственно влияют на процесс обработки. К ним могут относиться: ток обработки, напряжение обработки, длительность активной фазы обработки, давление электролита, частота отвода на промыв и др.

Параметры внешних условий – совокупность параметров внешней среды (температура, влажность).

Результатом обработки является совокупность значений параметров, характеризующих готовую деталь после обработки на станке. К ним могут относиться: шероховатость поверхности, качество поверхности, скорость обработки и др.

Желаемый результат обработки – результат обработки, которому должна соответствовать готовая деталь после ее обработки на станке.

Все параметры могут быть формализованными и неформализованными.

Формализованные параметры – параметры, имеющие численное значение (например: напряжение, ток, давление и др.).

Неформализованные параметры – параметры, не выражающиеся одним численным значением, но которые могут быть представлены другим параметром или совокупностью параметров (например: материал заготовки, среда электролита, материал оснастки и др.).

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Существующие системы автоматизации ЭХРО, которые применяются для современного оборудования, нацелены на конкретный станок. Это объясняется тем, что управление работой оборудования связано с большим количеством настроек и параметров, многие из которых специфичны для конкретного оборудования. Зачастую нереально отследить все факторы, влияющие на процессы обработки, но при этом возможны попытки их предугадать и скомпенсировать. При этом современная тенденция производства промышленного оборудования сводится к тому, что станки разрабатываются линейками модульных станков, исполняющих разные задачи, но имеющие в основе одни и те же принципы и технологические процессы. Это является предпосылкой для использования современных интеллектуальных систем поддержки принятия решений для автоматизации всего производства.

Возникает задача создания интеллектуальной системы поддержки настройки технологических процессов, удовлетворяющей следующим требованиям: основной целью системы должно являться своевременное предоставление всей необходимой информации для настройки и контроля оборудования; система должна иметь возможность на основании введенных исходных данных предоставлять информацию о том, на каком оборудовании можно осуществить операцию над деталью, как нужно настроить его и какие условия необходимо соблюдать, чтобы обработка детали соответствовала заявленным требованиям.

Необходимо обеспечить стабильную, быструю обработку, хранение и предоставление информации о произведенных процессах обработки и о текущих процессах обработки на всем контролируемом оборудовании, а также обеспечить значительную вычислительную мощность системы, необходимую для выполнения сложных операций расчета параметров.

Система должна быть удобной для использования. Необходимо применять современные методы голосового, визуального и тактильного ввода информации. Система должна иметь удобный пользовательский интерфейс, позволяющий получать легкий доступ к любой необходимой оперативной информации. Система должна сохранять работоспособность при отказах или отключениях оборудования.

### МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Для решения поставленной задачи предлагается использовать следующую методологию.

1. Применение методов интеллектуальной обработки информации о параметрах технологического процесса для нахождения параметров настройки технологического оборудования. Проведение анализа методов поиска, обработки, ввода, хранения и вывода информации пользователю с осуществлением интеллектуального преобразования информации из базы данных и входной информации и проведения расчетов информации на основе механизмов нейронной сети. Проведение формализации данных, приведение данных к числовому виду посредством механизмов нечеткой логики.

2. Использование технологии OLAP для поиска решений в базе данных, использование многокритериального поиска информации, применение специальной схемы хранения в базе данных (хранилища данных) в соответствии с технологией OLAP.

3. Применение распределенной архитектуры системы с целью обеспечения ее открытости, расширяемости и производительности. Применение механизмов распределения задач между узлами сети, методов работы с распределенной базой данных, механизмов децентрализации управления и взаимной работы над задачей.

Научная новизна сформулированной методологии определяется следующими положениями:

– Комбинирование известных методов интеллектуальной обработки информации (нейронные сети, нечеткие множества) и методов поддержки принятия решений (OLAP-технологии обработки информации в базе данных) с целью построения самообучающейся системы, способной к обработке больших массивов слабо формализованной информации.

– Использование распределенной архитектуры системы поддержки принятия решений с целью повышения производительности и отказоустойчивости системы в целом по сравнению с централизованной системой.

– Выполнение систематизации параметров объекта автоматизации (совокупности ЭХРО) для определения входных и выходных параметров нейронной сети. Классификация параметров ЭХРО с целью выделения типовых и индивидуальных наборов параметров.

Применение данной методологии обусловлено развитием современных методов и средств разработки интеллектуальных систем. Для построения системы необходимо использовать следующие методы.

Применение интеллектуальных методов является неотъемлемой частью современных методов обработки информации. Они являются наиболее эффективными и результативными методами среди всех методов работы с несистематизированной и неформализованной информацией. Применение нейронных сетей широко распространено в различных областях современных интеллектуальных систем для выявления и использования неочевидных связей между различными параметрами. Применение нечеткой логики для преобразования нечисловых данных к числовому формату необходимо, для использования их в качестве параметров нейронной сети.

Использование OLAP технологии является обоснованным решением, т.к. данная технология является передовой и достаточно эффективной для поиска решений в структурированной специальным образом базе данных по множеству параметров (многокритериальный поиск). Технология широко распространена в современных системах, работающих с большим объемом данных в базах данных.

Применение распределенной архитектуры системы обусловлено следующими факторами.

Распределение ресурсов среди узлов системы позволяет использовать в системе мобильные платформы, имеющих более ограниченные ресурсы по сравнению со стационарными компьютерами.

Расширение базы информации, увеличение ее разнообразия для более эффективного обучения нейронной сети на основе работы различных однотипных станков, которые впоследствии способствуют накоплению актуальной разнообразной информации.

Быстродействие и распределение нагрузки внутри сети за счет распределения задач, посылки запросов между узлами, совместной работы узлов системы над конкретной задачей.

Децентрализация управления данными позволяет оставаться системе в рабочем состоянии даже в случае выхода из строя различных узлов сети.

Взаимозаменяемость узлов в распределенной системе позволяет использовать узлы системы не только для работы на закрепленной за ней технике, но и на других станках.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

При решении поставленной задачи были получены следующие результаты:

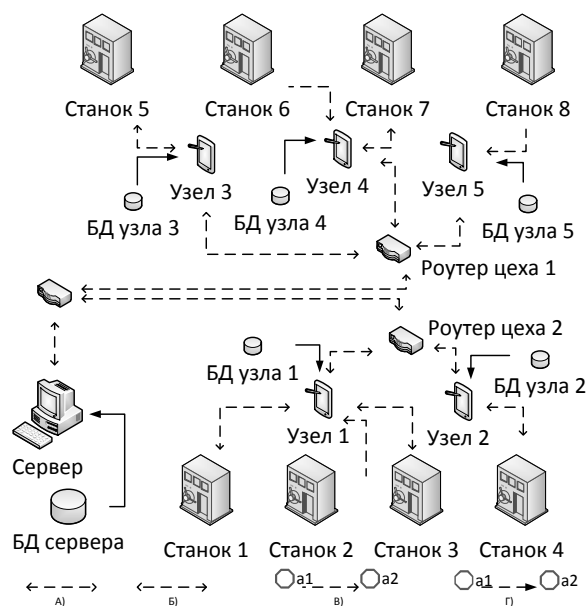
1. Определена архитектура системы.
2. Определены перечни параметров и способы их представления.
3. Предложен способ описания нечисловых параметров для использования их на входе и выходе нейронной сети.
4. Определен состав необходимого программного обеспечения, разработаны основные программные модули, показана их работоспособность.
5. Разработана схема данных.
6. Разработана топология нейронной сети.

В качестве решения поставленной задачи и реализации сформулированных требований предлагается концептуальная модель системы поддержки принятия решений на основе базы данных реальных процессов обработки. Автоматизированная интеллектуальная сетевая экспертная система (Automated intelligent networking expert system [AiNES]) [4] представляется в качестве системы на платформе мобильных устройств, например на базе ОС Android.

Система [AiNES] представляет собой совокупность функционально эквивалентных узлов сети. Каждый узел является самостоятельной системой, работающей с закрепленными за узлом станком или станками. Другими словами, узел это программа, установленная на планшетный компьютер, который выдается технологу или рабочему, работающему на определенном станке. Посредством беспроводной связи узел устанавливает связь с другими узлами, получая доступ к информации, расположенной на других узлах. В совокупности узлы представляют собой распределенную базу данных. В сеть может быть добавлен сервер базы данных (БД), который объединяет в себе все данные сети (реплики данных узлов). Каждый узел имеет возможность работать как самостоятельно, так и в сетевом режиме (рис. 1). Данная схема сетевой модели достигает повышенной отказоустойчивости системы в случае любого отключения сервера, узла или сегмента сети.

Каждый узел, если соединен с сетью, отправляет запрос в сеть на поиск решения и получает решения других узлов на отправленный

запрос, в том числе и ответ от сервера, если такой подключен к сети.



**Рис. 1.** Физическая структура системы:

*A – Wi-Fi сетевая связь;*

*Б – проводная сетевая связь;*

*В – опосредованная связь «a1» к «a2»;*

*Г – принадлежность «a1» к «a2»*

В системе выделены два потока информации: с одной стороны – это эмпирические знания, навыки и умения технолога, который работает с системой и осуществляет ввод информации в систему; с другой стороны – это данные в базе знаний системы, к которым имеет доступ технолог. Посредством человеко-машинного интерфейса технолог вводит данные в систему и в свою очередь из системы получает данные, которые были обработаны системой (результаты расчетов, статистика, управляющие данные и прочее). В частном случае технолог получает необходимые настроечные параметры для станка, на основе которых будет обрабатываться заготовка (рис. 2).

Основным рабочим процессом для модели системы представляется процесс, показанный на схеме (рис. 3).

Технолог для получения параметров, которые необходимо установить в настройках станка, вводит параметры станка и внешние параметры в систему посредством ручного ввода. В свою очередь внешние параметры представляются параметрами внешней среды и параметрами, которым должна соответствовать обработанная заготовка (параметры желаемого результата).

Система производит формализацию введенных параметров и на основе всей сово-

купности исходных параметров производит в первую очередь расчет параметров технологического процесса на нейронной сети.

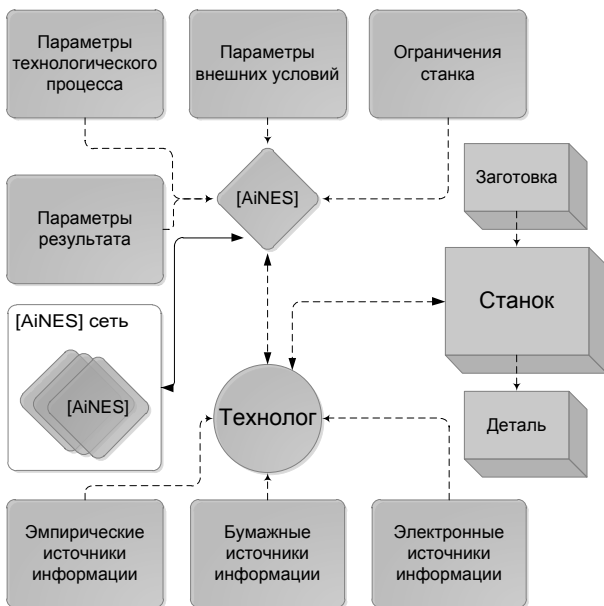


Рис. 2. Основные информационные потоки рассматриваемой системы

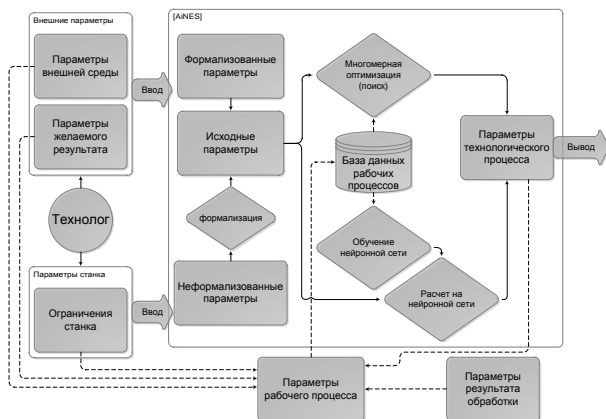


Рис. 3. Схема рабочего процесса системы

Затем осуществляет поиск оптимальных параметров технологического процесса (блок Многомерная оптимизация) на основе готовых решений, которые, возможно, уже имеются в БД. Для поиска оптимальных параметров используются и рассчитанные на нейронной сети параметры. В результате технологу на выходе системы предоставляются результаты поиска и расчетов. Технолог выбирает наиболее подходящий вариант и использует его для обработки заготовки. По окончании обработки технолог производит замеры параметров заготовки после обработки и вводит их в систему (блок Параметры результата обработки). Вся совокупность параметров в системе, входных и выходных

(блок Параметры рабочего процесса), сохраняется в БД как одна базовая запись.

БД используется в системе не только как хранилище базовых записей, но и как источник обучающих выборок для нейронной сети (рис.4). Каждая запись в БД анализируется и добавляется в список обучающей выборки для нейронной сети. Обученная нейронная сеть на основе данных из БД используется в дальнейшем для расчета решений (технологических параметров).

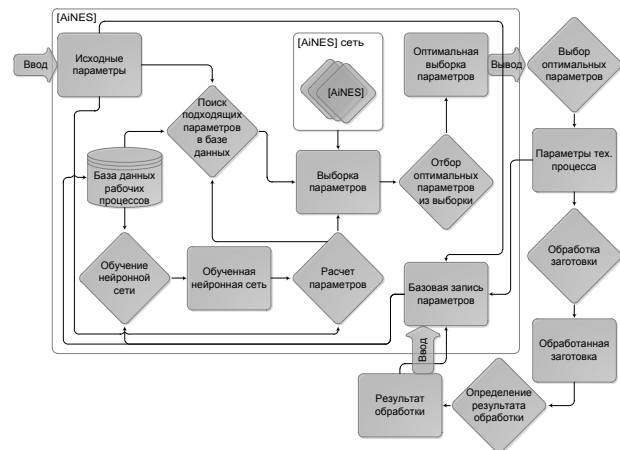


Рис. 4. Внутренний механизм выработки решений

Для станков ЭХРО параметры, составляющие базовую запись БД, состоят из четырех групп параметров (рис. 5), из которых группа «Параметры результата» дублируется в записи как фактический результат обработки заготовки и как желаемый результат обработки заготовки.

Параметры технологического процесса представляются параметрами, которые непосредственно влияют на процесс обработки и вводятся посредством программного обеспечения системы управления станка. Параметры внешних условий представляются параметрами, которые определяют среду обработки заготовки, которую возможно изменить только посредством ручного вмешательства человека. Ограничения станка определяют границы технологических параметров, с которыми данный определенный станок позволяет выполнить операцию.

Все представленные параметры, кроме параметров внешних условий, представлены в формализованном виде, т.е. имеют численное представление. К параметрам внешних условий относится также ряд параметров, которые для использования их в нейронной сети необходимо предварительно формализовать (рис. 6). Все неформализованные параметры переводятся в формализованный (численный) вид с использо-

ванием табличных данных, полученные эмпирическим путем. Эти табличные данные имеются в справочной литературе и могут быть сохранены в системе для дальнейшего преобразования параметров.

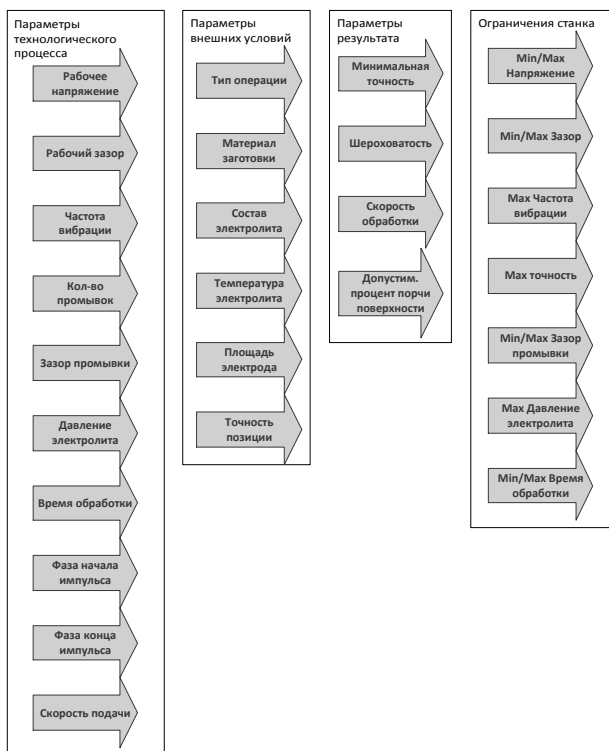


Рис. 5. Основные параметры системы для станка электрохимической размерной обработки

Оба этих подхода могут применяться при обработке узлов в документе источника данных.

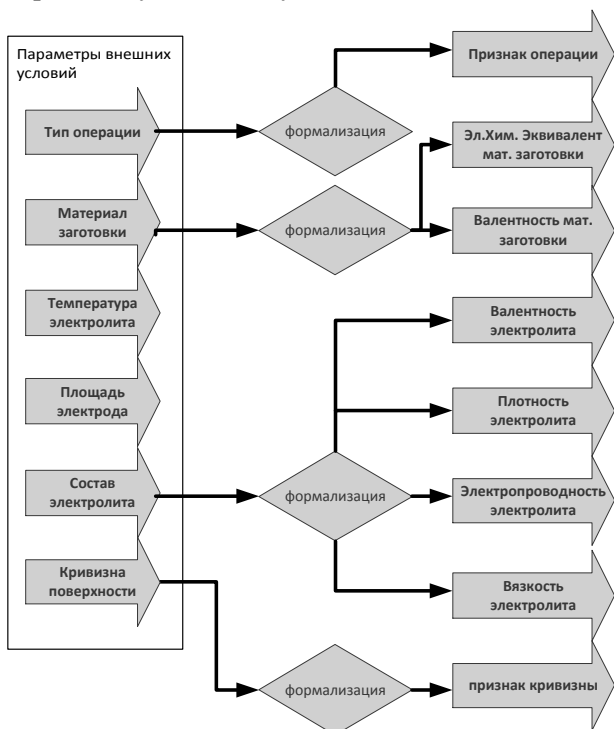


Рис. 6. Формализация параметров системы

В дальнейшем вся совокупность поступает на вход нейронной сети.

В результате работы системы технолог получает совокупность параметров, которые система вырабатывает тремя возможными путями: многомерная оптимизация на основе поиска готового решения в БД, расчет параметров на нейронной сети и получение параметров посредством запроса в сети системы. За технологом остается лишь выбрать вариант, либо предложить свой вариант. Затем, после обработки заготовки, технолог должен ввести результат в систему, и этот результат в последующем будет служить обучающими данными для нейронной сети.

Система разработана на языке программирования C# в среде программирования, поддерживающую кроссплатформенную разработку приложений Visual Studio 2010/2015 с использованием инструментария Xamarin. Система представляется интерфейсом, имеющим набор экранных форм, с которыми взаимодействует технолог в части ввода, редактирования и просмотра информации.

БД реализована в системе SQLite, которая широко применяется как на базе персональных компьютеров, так и на мобильных платформах. Схема данных БД представляется несколькими реляционными таблицами (рис. 7).

Технолог вводит данные посредством ручного ввода, создавая новую запись в базе данных. Эта запись поступает на вход системы в качестве начальных условий. К этому моменту нейронная сеть не будет обучена (изначально данные в базу данных вводятся технологом на основе опытных данных и за счет проведения опытных работ, по мере наполнения базы данных нейронная сеть имеет возможность обучаться, а в дальнейшем и дообучаться) и результат выдается посредством поиска в БД. По мере накопления минимально необходимого набора информации для нейронной сети, сеть будет включена в процесс поиска решения.

Система, перед тем как приступить к расчету и поиску решения, формирует запрос в сеть. Суть этого запроса состоит в том, чтобы каждый узел в системе подключился к поиску решения самостоятельно и выдал решение узлу, отправившему запрос. В этом случае возможны три варианта ответа от опрашиваемого узла:

- узел занят;
- узел вернул пустой результат;
- узел вернул результат поиска и результат расчета на нейронной сети.

Если из сети получены положительные результаты, то они также представляются техно-

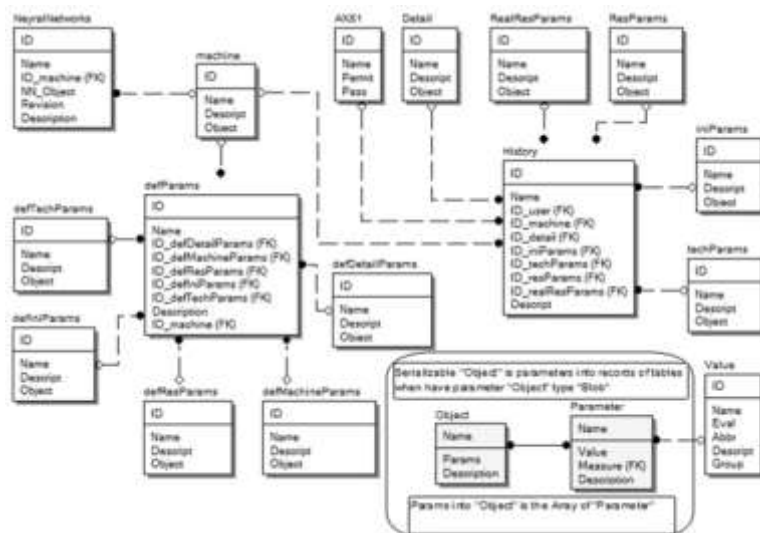


Рис. 7. Схема данных базы данных системы

логу, как и результаты расчета и поиска решения на узле, отправившем запросы.

Результаты расчета на нейронной сети могут использоваться как для уточнения параметров запроса для поиска в БД, так и в качестве начального приближения для запуска многомерной оптимизации.

Поиск подходящей записи осуществляется посредством специальной фильтрации данных. На первом этапе (при входе в систему) выбирается оборудование, на котором предполагается обработка детали. На втором этапе происходит фильтрация деталей. Из базы данных выбирается деталь, которая обрабатывалась на текущем станке и максимально совпадает с деталью, которую необходимо обработать. Фильтрация осуществляется посредством коэффициентов важности параметров детали. Затем происходит фильтрация результатов обработки, наиболее совпадающих с желаемыми параметрами. Результаты формируются посредством рассчитанных коэффициентов важности параметров, которые указывает пользователь при запуске поиска решения.

Для реализации системы использована нейронная сеть с двумя скрытыми слоями, т. к. для большинства решаемых задач считается достаточным наличие двух скрытых слоев [5]. Число нейронов для последующего скрытого слоя по теореме Хехт-Нильсена [5] принято равным  $2n+1$ , где  $n$  – число входных сигналов и число нейронов предыдущего слоя. Для рассматриваемой системы имеем 15 входных параметров и 10 выходных, тогда первый скрытый слой будет содержать 31 нейрон, второй скрытый слой содержит 63 нейрона. Выходной слой содержит 10 нейронов (рис. 8).

Выходной результат нейронной сети сопоставляется с ограничениями станка. В случае,

если результат совместим с ограничениями станка, он предлагается технологу.

Обучение нейронной сети организуется посредством комбинированных методов оптимизации (эвристические алгоритмы оптимизации и метод градиентного спуска). Реализация нескольких вариантов обучения нейронной сети дает возможность изучить поведение сети в различных условиях.

### ПРИМЕР

Для станков ЭХС10Б применены рассчитанные параметры следующего вида:

Исходные параметры:

- тип операции получение формы (признак операции 3);
- материал заготовки – титан (Электрохимический эквивалент – 0,444,
- валентность материала – +2);
- температура электролита – 18 градусов; площадь электрода –  $1 \text{ см}^2$ ;
- состав электролита – NaCl 15 % (Валентность – -2, Плотность – 15 %, Электропроводность –  $0,164 \text{ 1/ОмСм}$ , Вязкость – 1,025);
- кривизна поверхности Волна (Признак кривизны – 3);

Желаемый результат:

- минимальная точность – 100 мкм;
- шероховатость – 5 класс;
- скорость обработки – 30 минут;
- процент порчи – 10%.

Ограничения станка:

- минимальное напряжение – 5 вольт;
- максимальное напряжение – 60 вольт;

- минимальный зазор – 50 мкм;
  - максимальный зазор – 1000 мкм;
  - максимальная частота вибрации – 0 Гц;
  - максимальная точность – 50 мкм;
  - минимальный зазор промывки – 100 мкм;
  - максимальный зазор промывки – 2000 мкм; максимальное давление – 10 атмосфер;
  - минимальное время обработки – 1 секунда;
  - максимальное время обработки – 100 сек.
- Технологические параметры (результат работы системы):

- рабочее напряжение – 15 вольт;
- рабочий зазор – 300 мкм;
- частота вибрации – 0 Гц (без вибрации);
- количество промывок – 3 промывки;
- зазор промывки – 1000 мкм;
- давление электролита – 2 атмосферы;
- время обработки – 30 секунд;
- фаза начала импульса – 40 градусов;
- фаза конца – 270 градусов;
- скорость подачи – 2 мкм/сек;

Реально полученные результаты обработки детали:

- точность – 90 мкм;
- шероховатость – 3 класс;
- скорость обработки – 15 минут;
- процент порчи – 3 %.

Заготовка обработалась без сбоев, качество удовлетворяет желаемому результату.

### ВЫВОДЫ

Приведена концептуальная модель построения интеллектуальной экспертной системы, которую возможно применять для настройки промышленного оборудования. Приведен пример практической реализации системы на примере станков ЭХРО. Использование системы на базе мобильных платформ повышает комфортность использования системы в современном производстве, при этом повышаются коммуникационные способности, возможности функционального расширения системы и возможности связи системы с существующими системами документооборота предприятий.

Использование предложенной системы позволит значительно упростить работу сотрудникам производства, при этом увеличатся техни-

ко-экономические показатели использования оборудования. Увеличится срок эксплуатации оборудования за счет возможности оптимального использования оборудования.

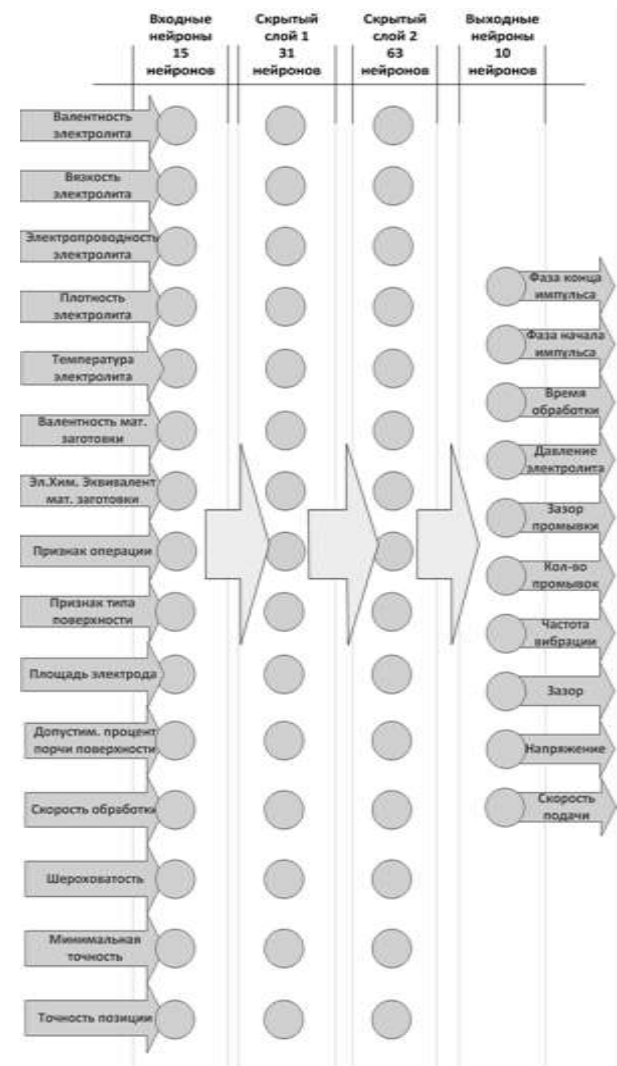


Рис. 8. Топология нейронной сети

При создании системы используются такие современные подходы как:

- нейронные сети;
- интеллектуальный ввод;
- мобильные платформы.

Все эти подходы позволяют повысить универсальность, удобство и эффективность, по сравнению с другими подобными современными системами. Только совокупности современных методов позволяют достичь высоких результатов автоматизации, так как по отдельности эти методы решают лишь часть проблем в узком диапазоне целей. Применение мобильных платформ в современном производстве является необходимостью, которая диктуется новыми требованиями к комфорту и простоте использования оборудования. Это напрямую влияет на



производительность труда рабочего. Развитие современных методов в области искусственного интеллекта выводит производство на новый высокотехнологичный уровень, позволяющий выполнять операции любого уровня сложности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Senthil K. L.** Modeling of metal removal rate in machining of aluminum matrix composite using artificial neural network // *Journal of Composite Materials*. № 45 (22). DOI: 10.1177 / 0021998311401083. P. 2309–2316. [ Senthil K. L. Modeling of metal removal rate in machining of aluminum matrix composite using artificial neural network // *Journal of Composite Materials* 45(22), DOI: 10.1177/0021998311401083 P. 2309-2316 ]
2. **ONES A. D.** A prototype expert system for manufacturing resource planning // *Int. J. Computer integrated manufacturing*. Vol. 1, № 3. P. 165–170 [ **JONES A. D.** A prototype expert system for manufacturing resource planning // *Int. J. Computer integrated manufacturing*, vol. 1, №. 3. pp. 165-170 ]
3. **Macioł Ma cio A. P., Drusik Ł St. Je Lelito J.** The new hybrid rule-based tool to evaluate processes in manufacturing // *Int J Adv Manuf Technol*. 2015. № 79. DOI: 10.1007 / s00170-015-6860-5 P. 1733–1745 [ **Macioł Ma cio A. P., Drusik Ł St. Je, Lelito J.** The new hybrid rule-based tool to evaluate processes in manufacturing // *Int J Adv Manuf Technol* (2015) 79, DOI: 10.1007/s00170-015-6860-5 pp. 1733–1745 ]
4. **Давлетбаев А. С., Старцев Ю. В., Куликов Г. Г.** Разработка автоматизированной интеллектуальной сетевой экспертной системы [AiNES] // 17-я Междунар. конф. информационных технологий и компьютерных наук CSIT'2015, (Рим, Италия, 22–26 сентября 2015 г.). 2015. Т. 1. С. 11–15. [ **Davletbaev A. S., Startcev Y. V., Kulikov G. G.** Development of automated intelligent networking expert system [AiNES] // *The 17th International Workshop on Computer science and Information Technologies CSIT'2015*, (Rome, Italy Sep. 22-26 2015). 2015, vol. 1, pp. 11-15 ]
5. **Бахметова Н.А., Токарев С.В.** Моделирование технологических процессов с помощью нейронных сетей // *Современные наукоемкие технологии*. 2008. № 2. С. 139–140 с. [ **Bakhmetova NA, Tokarev S.V.** Modeling of technological processes using neural networks // *Modern high technology*. - 2008. - No. 2. - P. 139-140 ]

#### ОБ АВТОРАХ

**ДАВЛЕТБАЕВ Александр Сергеевич**, асп. каф. автоматизированных систем управления. Дипл. инж. асу (УГАТУ, 2014). Готовит дис. об автоматизированной интеллектуальной экспертной системе.

**КУЛИКОВ Геннадий Григорьевич**, проф. каф. автоматизированных систем управления. дипл. инж. по спец. автоматизация машиностроения (УАИ, 1971). Д-р техн. наук (УАИ, 1989) Иссл. в обл. автоматизированных систем управления и систем управления силовыми установками летательных аппаратов (автор более 160 научных публикаций).

**СТАРЦЕВ Юрий Валентинович**, доц. каф. автоматизированных систем управления. дипл. Инж. электронной техн. (УАИ, 1972). Канд. техн. наук по элементам и устройствам систем управления и вычислительной техн. (УАИ, 1978). Иссл. в обл. систем управления, моделирования, баз данных.

#### METADATA

**Title:** Conceptual model of the system for supporting the adjustment of technological processes of machine tools.

**Authors:** A. S. Davletbaev<sup>1</sup>, G. G. Kulikov<sup>2</sup>, U. V. Startcev<sup>3</sup>

**Affiliation:** Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** <sup>1</sup>DavASko01@mail.ru, <sup>2</sup>gennadyg\_98@yahoo.com <sup>3</sup>startcevy@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** *Vestnik UGATU* (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 21, no. 1 (75), pp. 142-150, 2017. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** The issues of constructing and organizing an intellectual decision support system for tuning CNC machines for electrochemical dimensional processing (ECHR) are considered. Conceptual schemes of system construction, its composition and operating principle are given. The results of preliminary testing of the system are given, the description of the subject area of system use is given. The structure of the machine setting processes is shown.

**Key words:** Expert system; neural networks; Electrochemical dimensional processing; database; Mobile platforms; technological process.

#### About authors:

**DAVLETBAEV Alexandr Sergeevich**, Postgrad. (PhD) Student Dept. Automated control systems. Dipl. Ing. AMS (UGATU, 2014). Prepares dis. About the automated intellectual expert system.

**KULIKOV Gennady Grigoryevich**, prof. Dept. Automated control systems. Diplom. Ing. On spec. Automation of machine building (AIM, 1971). Dr. Tech. Sciences (UAI, 1989). In the region. Automated control systems and control systems for power plants of aircraft (author of more than 160 scientific publications).

**STARTSEV Yuri Valentinovich**, Assoc. Dept. Automated control systems. Diplom. Ing. Electronic techn. (UAI, 1972). Cand. Tech. Sciences in the elements and devices of control systems and computer technology. (AIM, 1978). Research. In the region. Control systems, modeling, databases.