

УДК 681.518:65.011.56

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ДОРОЖНЫХ МАШИН

**Е.В. Викторова, аспирант, ХНАДУ**

*Аннотация.* Рассмотрен один из возможных подходов к решению проблемы повышения эффективности технической эксплуатации дорожной машины за счет внедрения систем технической диагностики. Обоснована необходимость использования нечетких нейронных сетей в системах технической диагностики дорожных машин.

*Ключевые слова:* дорожная машина, динамические нагрузки, система технической диагностики, нечеткие нейронные сети.

## ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ДОРОЖНІХ МАШИН

**О.В. Вікторова, аспірант, ХНАДУ**

*Анотація.* Розглянуто один із можливих підходів до вирішення проблеми підвищення ефективності технічної експлуатації дорожньої машини за рахунок впровадження систем технічного діагностування. Обґрунтовано необхідність використання нечітких нейронних мереж у системах технічного діагностування дорожніх машин.

*Ключові слова:* дорожня машина, динамічні навантаження, система технічного діагностування, нечіткі нейронні мережі.

## USE OF FUZZY NEURAL NETWORKS FOR TECHNICAL DIAGNOSTICS OF ROAD MACHINERY

**O. Viktorova, postgraduate, KhNAHU**

*Abstract.* This paper deals with possible approaches to solving the problem of increasing technical operation of road machinery through the introduction of system of technical diagnostics. The necessity of using fuzzy neural networks in the system of technical diagnostics of road machinery has been grounded.

*Key words:* road machinery, dynamic loads, system of technical diagnostics, fuzzy neural networks.

### Введение

Затраты на поддержание, сохранение и восстановление работоспособности дорожных машин составляют до 25 % себестоимости машино-часа эксплуатации, а за срок службы они в 8–10 раз превосходят стоимость новых машин. Снижение этих затрат возможно при повышении эффективности технической эксплуатации за счет внедрения технической диагностики, позволяющей исключить интенсивный процесс изнашивания деталей и отказ машин на объекте.

Значительный рост количества систем дорожной машины, в том числе и электронных, а также повышение их сложности конструкции и принципов функционирования потребовало от производителей эффективных средств диагностирования. Особенно это касается встроенных средств, работающих непосредственно на машине. Однако подавляющее большинство подобных систем обладают существенным недостатком – они оценивают техническое состояние отдельных элементов, подсистем и узлов дифференцированно, без взаимосвязи с другими подсистемами, что значительно снижает достовер-

ность диагностирования и, как следствие, требует либо чрезмерно «жестких», либо «мягких» нормативов. Сами по себе системы бортовой диагностики не обладают алгоритмами постановки диагноза по системам дорожной машины, а лишь фиксируют локальные проявления неисправностей. Следует отметить, что стационарные комплексы диагностирования также, как правило, не имеют систем постановки диагноза по совокупности диагностических параметров, роль которых отводится оператору-эксперту.

Разработчики дорожных машин Volvo сконцентрировали внимание на том, чтобы упростить процесс поддержания их работоспособности, обеспечивая более редкое проведение технического обслуживания с помощью таких мощных сервисных систем как Service Contronic, MATRIS и VCADS Pro. Service Contronic – это портативный ручной прибор, который быстро определяет неисправность при отказе оборудования. Все текущие параметры представлены в следящей за машиной системе MATRIS, располагающей всей информацией о неисправностях и требованиями по сервису, в то время как диагностическая программа VCADS Pro позволяет проверять все рабочие функции машины и приводит их к рабочему состоянию.

Анализ работы таких бортовых систем диагностики технического состояния дорожных машин выявил ряд недостатков. Во-первых, эти системы совершенно не учитывают динамические нагрузки, которые действуют на рабочие органы дорожной машины. Во-вторых, в рассмотренных системах диагностики не выполняется одна из главных задач технического диагностирования – прогнозирование технического состояния дорожных машин.

Эти недостатки могут быть устранены, если в режиме реального времени, по данным текущих измерений критических параметров, идентифицировать динамические нагрузки, соответствующие им динамические режимы работы и техническое состояние дорожной машины. А при помощи экспертной базы данных, в которой набрана статистика о действующих нагрузках, а также наработке и остаточном ресурсе машины и ее систем, можно осуществлять прогнозирование технического состояния дорожной машины. Эти задачи могут быть решены за счет использования нечетких нейронных сетей.

## Анализ публикаций

Одним из направлений, определяющих повышение качества информационных технологий контроля и диагностики технического состояния, следует считать интеллектуализацию процессов обработки диагностической информации с использованием технологии нечетких и экспертных систем, которые способны обеспечить повышение качества распознавания технического состояния объекта [1]. Одним из путей развития нечеткого подхода, который может использоваться в системах принятия решений по выбору режимов работы в сложных условиях эксплуатации дорожной машины, является концепция «мягких» вычислений [2]. В работе [3] предложена методика построения функций принадлежности информативных параметров динамических режимов работы дорожной машины, которая позволяет распознавать динамические нагрузки в зависимости от их стационарности.

## Цель и постановка задачи

На сегодняшний день, несмотря на то, что в процессе эксплуатации машина подвергается внешним и внутренним воздействиям, которые приводят к изменению параметров отдельных элементов и машины в целом, а также жесткие требования к надежности, диагностика дорожных машин носит лишь фрагментарный и периодический характер.

При проведении диагностирования машин проводятся измерения более тридцати параметров. Существенным является то, что все измерения проводятся в статическом режиме, или в динамическом режиме с использованием специальных стендов. Но в условиях реальной эксплуатации дорожной техники динамические режимы работы и нагрузки будут отличаться от стендовых. Вследствие этого измеренные параметры не будут достоверными в полной мере и по ним нельзя принять решение о соответствии параметров узлов и систем машины установленным требованиям.

Таким образом, актуальной является задача оценки и прогнозирования технического состояния дорожной машины в процессе выполнения ею технологических операций, то есть в динамике ее работы.

Целью статьи является обоснование использования нечетких нейронных сетей в системах технической диагностики дорожных машин.

### Нечеткие нейронные сети в технической диагностике дорожных машин

Анализ современных диагностических систем дорожных машин свидетельствует о том, что существует объективная научно-техническая проблема создания комплексных систем диагностирования, построенных на универсальных принципах, обеспечивающих высокий уровень достоверности постановки диагноза и перспективных в отношении массовой реализации как в стационарных стендах, так и систем бортового диагностирования. Проектирование систем диагностирования требует создания алгоритма диагноза и определения нормативов. Традиционные подходы реализуют эти два этапа раздельно, что является их существенным недостатком. Тем не менее, в медицине, экономике достаточно успешно применяют диагностические и экспертные системы на основе интеллектуальных методов, таких как нечеткая логика и нейронные сети.

Особенно широко применяют системы на базе «мягких вычислений» – «нечеткая логика». «Мягкие» вычисления рассматриваются как совокупность вычислительных методологий, которые коллективно обеспечивают основы для понимания, конструирования и развития интеллектуальных диагностических систем. В этой совокупности основными компонентами «мягких» вычислений являются нечеткая логика, нейровычисления, генетические алгоритмы и вероятностные вычисления.

Однако серьезный их недостаток состоит в конструктивно заложенной зависимости эффективности системы диагностики от размерности набора контролируемых параметров. Дело в том, что система диагностики должна обладать полнотой, то есть необходимо, чтобы для каждого возможного варианта значений набора контролируемых параметров существовало соответствующее продукционное правило. Это означает, что если каждый параметр может принять одно из  $m$  возможных значений, то общее число продукционных правил будет равно  $N = m^n$  и быстро растет с увеличением  $m$  и  $n$ . Так-

же нечеткая логика эффективна при наличии знаний у эксперта о влиянии факторов на целевую функцию, а также невысоких требований к точности системы.

Именно вследствие этих ограничений эти технологии ограниченно находят применение в технической диагностике. Для успешного применения нечеткой логики ее необходимо рассматривать в совокупности с нейронными системами. Одна из особенностей нейронных сетей, дающая мощный стимул для их применения при диагностировании и прогнозировании отказов систем дорожных машин, – это способность к обучению и обобщению накопительных знаний. Нейронная сеть обладает чертами искусственного интеллекта; натренированная на ограниченном множестве данных, сеть способна обобщать полученную информацию и показывать хорошие результаты на данных, не использовавшихся в процессе обучения. Характерная особенность сети состоит также в возможности ее реализации с применением технологии сверхбольшой степени интеграции. Искусственные нейронные сети в задачах прогнозирования и диагностирования объекта могут быть использованы в качестве подсистемы выборки и принятия решений, передающей диагностическую информацию другим подсистемам (например, автоматизированной системе управления технологическим процессом) с иной методологической основой построения.

Задачи прогнозирования отказов систем и элементов дорожных машин сложны из-за невозможности четкой постановки соответствия изменений входных и выходных параметров состоянию, в котором находится или к которому стремится объект диагностирования. В частности нельзя однозначно определить все отказы или предотказные состояния такого объекта как дорожная машина. Однако можно выделить множество состояний объекта диагностирования и попытаться оценить степень влияния каждого информационного параметра на вероятность перехода объекта в какое-либо из возможных состояний. Поэтому для диагностирования необходимо использовать метод подбора весовых коэффициентов – межнейронных связей на основе обучения и нечетких нейронных сетей, функционирование которых основано на принципах нечеткой логики, применяющих для адаптации параметров методы обучения,

как с «учителем», так и на основе самоорганизации.

Важнейшее свойство нечетких нейронных сетей свидетельствует об их большом потенциале в области прогнозирования отказов и состоит в возможности параллельной обработки информации всеми нейронами. Благодаря этой способности при большом количестве межнейронных связей достигается одновременно обработка значительного объема поступающей измерительной информации в реальном масштабе времени.

В задачах диагностирования и прогнозирования нечеткая нейронная сеть играет роль универсального аппроксиматора функции от нескольких переменных, реализуя нелинейную функцию

$$Y = F(X), \quad (1)$$

где  $\{X(t)\} = \{X_1(t), X_2(t), X_3(t), \dots, X_n(t)\}$  – векторы входной информации (текущие измеренные значения диагностических параметров), а  $Y$  – реализация векторной функции нескольких переменных. Постановка многих задач диагностирования и прогнозирования технического состояния объекта может быть сведена именно к аппроксимационному представлению.

Одной из простых моделей для установления диагностической информации могут служить статические модели, увязывающие критерии, оценивающие состояние объекта диагностирования, с отклонениями измеряемых параметров в виде регрессионной модели дефектов

$$\delta A = Wa_1 \cdot X_1 + Wa_2 \cdot X_2 + \dots + Wa_n \cdot X_n, \quad (2)$$

$$\delta B = Wb_1 \cdot X_1 + Wb_2 \cdot X_2 + \dots + Wb_n \cdot X_n, \quad (3)$$

где  $Wa_1, Wa_2, \dots, Wa_n, Wb_1, Wb_2, \dots, Wb_n$  – коэффициенты влияния (весовые коэффициенты).

Таблицу весовых коэффициентов  $W$  для каждого конкретного значения  $X_i$  называют диагностической матрицей. Необходимо также решить вопрос об оптимальном числе измеряемых параметров. С одной стороны, чем больше число измеряемых параметров, тем достовернее определяется техническое состояние объекта диагностирования, но и

тем больше сложность и себестоимость системы диагностики в целом. Таким образом, следует выбирать параметры, которые наиболее полно характеризуют техническое состояние дорожной машины в процессе ее эксплуатации.

В целом локализация дефектов с помощью диагностической матрицы подобна работе системы нейронов, которая получила название «персептрон» (рис. 1).

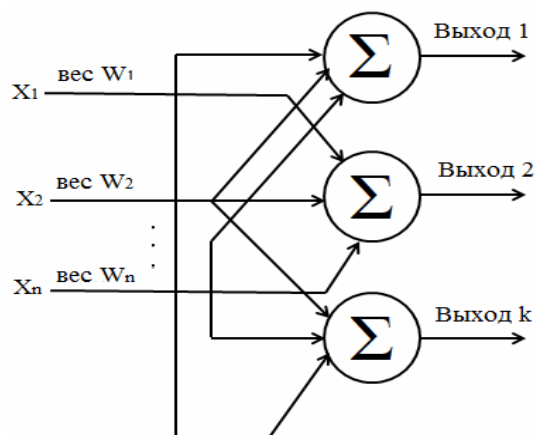


Рис. 1. Однослойный персептрон с  $n$  входами и  $k$  выходами

При этом каждый нейрон в простейшем случае модифицирует вычислительную сумму с помощью активационной функции в виде сигнала наличия (1) или отсутствия (0) какого-либо отказа или предотказного состояния, а в случае применения более структурированных нечетких нейронных сетей выходным сигналом может служить коэффициент веса нейронной сети более высокого уровня – вероятность нахождения объекта диагностирования в возможных рабочих, граничных, критических, нерабочих состояниях. После предъявления входных сигналов совместно с известным выходом и баз данных нейронные сети могут самоорганизовываться (обучаться) под конкретный объект диагностирования для получения требуемой реакции. Однако организация процесса обучения в каждом конкретном случае – это сложная проблема, требующая тщательной обработки.

Множество контрольных точек дорожной машины, в которых снимаются ее характеристики в различных режимах работы, может считаться вектором  $x$  (каждый вектор соответствует определенному динамическому

режиму работы), подаваемым на вход сети. В зависимости от условий работы, вида неисправного элемента и степени повреждения получаются различные характеристики одной и той же системы дорожной машины. Как правило, неисправность каждого вида связана со специфическим изменением характеристик дорожных машин, свойственным только этой неисправности. Нейрон, побеждающий в конкуренции при определенной комбинации характеристик дорожной машины, представляет впоследствии либо нормальный режим работы, либо определенную неисправность, позволяя тем самым локализовать ее. Типовая схема обнаружения неисправностей представлена на рис. 2.

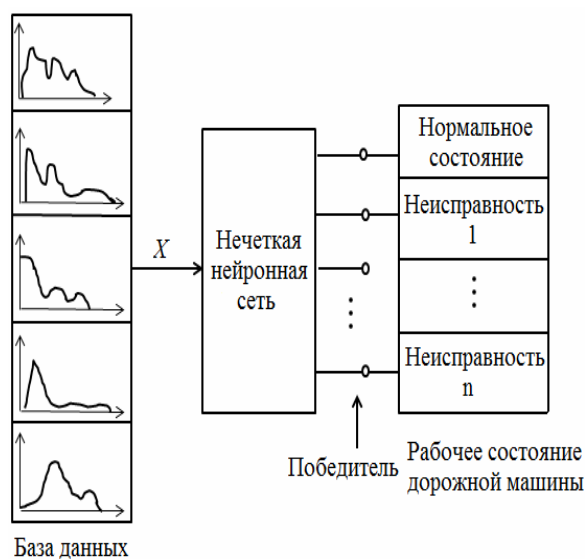


Рис. 2. Схема применения нечеткой нейронной сети для обнаружения неисправностей в дорожной машине

База данных состоит из множества характеристик, отвечающих различным нормальным и предельным состояниям в определенных режимах работы, в которых, как правило, устройство подвергается диагностированию. Главное условие корректного функционирования системы – дифференциация характеристик при различных предельных состояниях. Если две различные неисправности имеют идентичные признаки, их различение

будет невозможным. Подготовка соответствующей базы данных, по которой будет проводиться обучение, а в последующем эксплуатация нечеткой нейронной сети (собственно диагностирование неисправностей), требуют проведения таких измерений, которые будут однозначно свидетельствовать о фактическом состоянии дорожной машины. При этом следует выделить те фрагменты характеристик, которые отличаются друг от друга. Для достижения этой цели могут выполняться любые операции (как линейные, так и нелинейные) на всей базе данных.

## Выводы

Проведенный анализ возможностей и алгоритмов работы нечетких нейронных сетей свидетельствует о том, что эти сети при определенных ограничениях с успехом могут использоваться в бортовых диагностических системах дорожных машин.

## Литература

1. Круглова Т.Н. Нечеткий экспертный метод диагностирования технического состояния очистного комбайна / Т.Н. Круглова // Наукові праці ДонНТУ. – 2010. – № 18(172). – С. 179–185.
2. Вікторова О.В. Використання «м'яких» обчислень в інтелектуальних інформаційно-вимірвальних системах дорожніх машин / О.В. Вікторова, А.О. Коваль // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2011. – Вып. 53. – С. 111–117.
3. Вікторова О.В. Методика побудови функцій приналежності інформативних параметрів динамічних режимів роботи дорожньої машини / О.В. Вікторова // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 5/3(53). – С. 11–15.

Рецензент: О.Я. Никонов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 26 апреля 2012 г.