

УДК 004.052.32

DOI: 10.30987/article_5ba8a190c4b385.22437052

Н.В. Суханова

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Представлены результаты исследования по совершенствованию известных способов контроля работоспособности автоматизированных систем управления (АСУ). Показана возможность контроля работоспособности АСУ на базе искусственных нейронных сетей (ИНС). Разработан и исследован

способ контроля работоспособности АСУ с использованием нейронной сети.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, обучающая выборка, работоспособное состояние, неработоспособное состояние, отказ, устройство контроля работоспособности.

N.V. Sukhanova

METHOD DEVELOPMENT AND INVESTIGATION FOR CONTROL OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM WORKING CAPACITY BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

The purpose of the work consists in the improvement of known control methods of automated control system working capacity. A possibility for control of automated control system working capacity based on artificial neural networks (ANN) is shown. ANN must be taught. ANN training requires a large training sample, substantial costs, computer resources, time and has high labor intensity.

Methods of investigation are modeling, methods of artificial intelligence, artificial neural networks.

As a result of the investigation there is developed and investigated a method of automated control system (ACS) working capacity control with the use of a neural network.

Key words: artificial neural network, training sample, efficient condition, inoperable state, failure, device for working capacity control.

Введение

Контроль работоспособности относится к задачам надежности. С точки зрения теории надежности существуют работоспособные и неработоспособные состояния автоматизированных систем управления (АСУ). Цель контроля работоспособности - определить, в каком состоянии находится АСУ: работоспособном или неработоспособном. Контроль работоспособности позволяет обнаружить отказ АСУ. Отказы АСУ могут быть аппаратными, программными или аппаратно-программными. В статье рассмотрены отказы технических средств АСУ. Современные АСУ включают большое количество устройств, и отказы этих устройств по-разному влияют на работоспособность АСУ.

Цель автоматизации - это повышение производительности оборудования и качества выпускаемой продукции. К современным АСУ оборудованием и технологиче-

скими процессами в машиностроении предъявляются высокие требования по надежности и работоспособности. Традиционным способом повышения надежности является резервирование, введение избыточных элементов, компонентов, составных частей. Частичное или полное резервирование АСУ вызывает существенный рост стоимости, энергопотребления и других эксплуатационных параметров. Для решения задачи контроля работоспособности АСУ можно использовать либо экстенсивные способы, либо интенсивные. На современном этапе поставлена задача экономии ресурсов и разработки новых интенсивных способов контроля работоспособности АСУ.

Перспективным и новым научным направлением является применение методов искусственного интеллекта и искусственных нейронных сетей (ИНС) для прогнозирования и оценки надежности про-

граммных средств АСУ [1-16]. Предложено новое применение разработанных методов.

Объект, цель, задачи исследования

Объект исследования - технические средства АСУ оборудованием и технологическими процессами в машиностроении.

АСУ оборудованием и технологическими процессами в машиностроении выполняют функции, которые представлены на рис. 1. Многочисленные функции АСУ были разделены на две группы:

дов - для контроля работоспособности технических средств АСУ.

- функции, связанные с задачами управления в реальном времени;
- функции, реализуемые в режиме буферизации данных.

Показано, что контроль работоспособности АСУ относится к задачам управления в реальном времени.

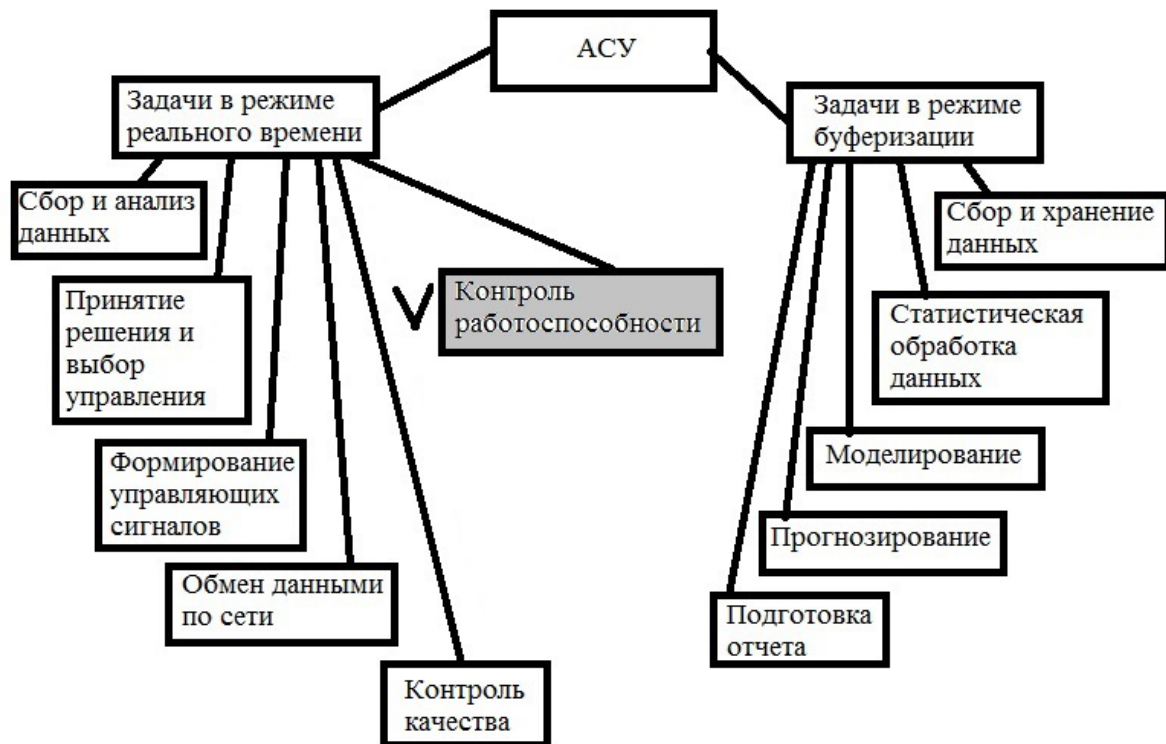


Рис. 1. Основные функции АСУ оборудованием и технологическими процессами в машиностроении

Обобщенная структура АСУ оборудованием и технологическими процессами в машиностроении приведена на рис. 2.

В состав АСУ входят следующие технические средства (рис. 2): персональные компьютеры (ПК), компьютерные и промышленные сети, программируемые логические контроллеры (ПЛК), датчики, управляющие механизмы и др. Объекты управления - это технологические линии, технологические процессы, оборудование предприятий машиностроения (станки, роботы, транспортеры) и др.

ПЛК и промышленная сеть реализуют задачи управления в реальном времени на

нижнем уровне АСУ. ПК и компьютерная сеть реализуют задачи управления на верхнем уровне АСУ.

Цель исследования - совершенствование известных способов контроля работоспособности автоматизированных систем управления.

Методы исследования - моделирование, методы искусственного интеллекта и искусственных нейронных сетей.

Для достижения поставленной цели были определены задачи исследования:

1. Анализ известных способов контроля работоспособности АСУ.

2. Разработка и исследование нового способа контроля работоспособности АСУ

на базе искусственных нейронных сетей.

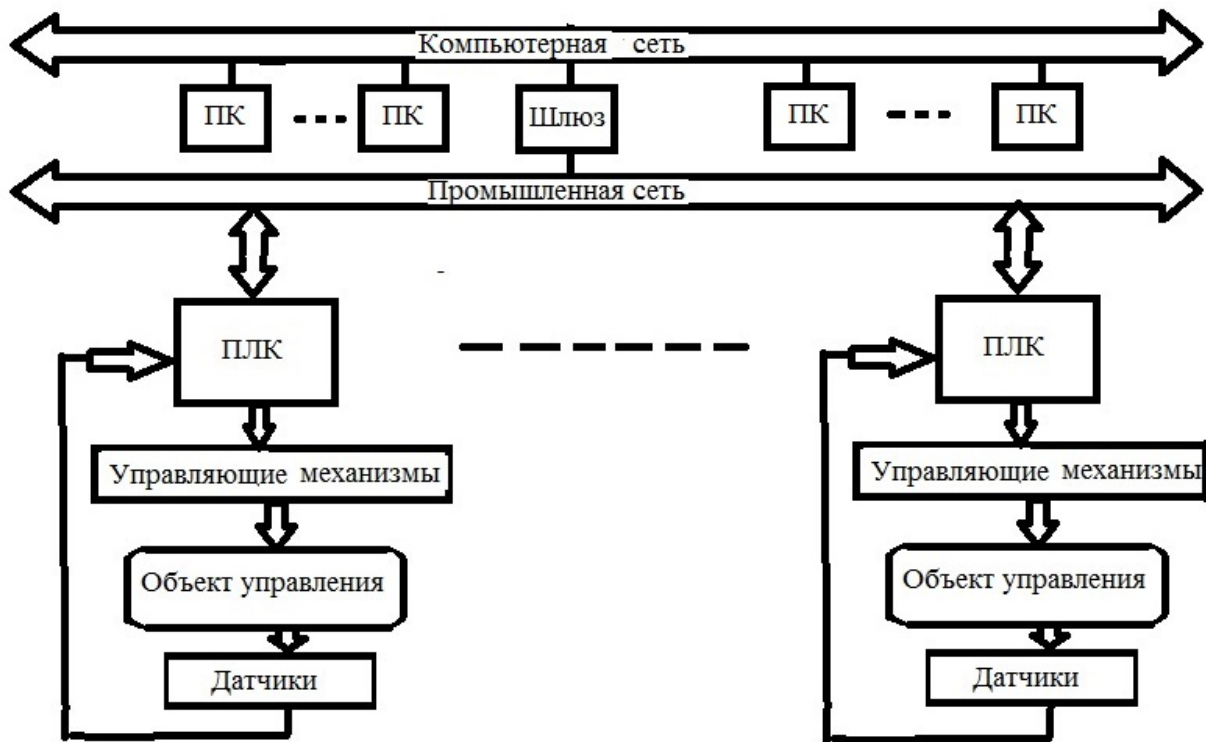


Рис. 2. Обобщенная структура АСУ оборудованием и технологическими процессами в машиностроении

Анализ известных способов контроля работоспособности АСУ

Известны следующие основные способы контроля сигналов работоспособного состояния: абсолютный, последовательный и адаптивный.

При абсолютном способе контроля вычисляют среднее значение контрольного сигнала:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i(t_i), \quad (1)$$

где $y_i(t_i)$ - отсчеты контрольного сигнала в моменты времени t_i ; n - объем выборки.

Затем среднее значение контрольного сигнала сравнивают с заданным пороговым значением U_n с учетом допуска [17].

Абсолютный способ контроля сигнала имеет следующий недостаток. Под действием различных факторов (в том числе колебаний напряжения питания, электромагнитных помех, погрешности измерений) происходят случайные изменения уровня контрольного сигнала. Воздействие дестабилизирующих факторов приводит к выходу среднего значения за границы допуска, снижает эффективность контроля рабо-

тоспособного состояния, приводит к ложному обнаружению отказа.

При последовательном способе контроля сигнала вычисляют значение решающей статистики S_i :

$$S_{i+1} = \{S_i + \ln \Lambda_{i+1}\}, \quad (2)$$

$$S_0 = 0,$$

где S_i - значение решающей статистики; Λ_i - отношение правдоподобия; $i=1...n$ - индекс.

Отношение правдоподобия Λ_i рассчитывается по формуле

$$\Lambda_i = \frac{W_1(y_i | \theta_1) \Delta t}{W_2(y_i | \theta_2) \Delta t},$$

где $W_1(\cdot)$, $W_2(\cdot)$ - плотности распределения вероятностей сигнала соответственно в работоспособном и неработоспособном состояниях; y_i - отсчеты контрольного сигнала в моменты времени t_i ; θ_1 , θ_2 - средние уровни контрольного сигнала соответственно в работоспособном и неработоспособном состояниях; Δt - интервал времени

между отсчетами контрольного сигнала.

В работоспособном состоянии вычислительной системы значение S_i выше порога. Значение решающей статистики сверху ограничивают пороговым значением.

При отказах решающая статистика S_i уменьшается до нуля и затем принимает отрицательное значение. Значение решающей статистики снизу ограничивают нулем.

Последовательный способ контроля сигналов имеет следующие недостатки:

1. Устройство контроля необходимо настраивать на средние значения сигнала в работоспособном и неработоспособном состояниях θ_1 и θ_2 . Требуется указать среднее значение контрольного сигнала до и после отказа, что не всегда возможно.

2. При приеме контрольного сигнала на фоне интенсивных помех устройство может принимать ложное решение.

3. При отказе может меняться закон распределения контрольного сигнала, а также параметры его статистического распределения.

Адаптивный способ контроля сигналов использует оценку среднего значения [см. формулу (1)] в сочетании с последователь-

ным способом контроля сигнала [см. формулу (2)].

Адаптивный способ контроля сигналов имеет следующие недостатки:

1. Решение о неработоспособном состоянии принимается с запаздыванием, вызванным накоплением решающей статистики.

2. Разность оценок среднего уровня сигнала в неработоспособном и работоспособном состояниях ($\theta_2 - \theta_1$) может уменьшиться, устройство контроля может пропустить отказ.

3. Адаптация допустима только на заданном интервале значений контрольного сигнала.

В АСУ количество контролируемых сигналов измеряется сотнями и тысячами. Для каждого сигнала требуется реализовать устройство контроля, что увеличивает затраты и снижает эффективность сложных способов контроля работоспособного состояния вычислительной системы.

Предлагается использовать абсолютный способ контроля сигналов.

Для контроля работоспособного состояния АСУ предлагается использовать ИНС.

Разработка и исследование нового способа контроля работоспособности АСУ на базе методов искусственного интеллекта и искусственных нейронных сетей

Разработан новый способ контроля работоспособности АСУ. Он основан на применении обученной искусственной нейронной сети со слоистой структурой и включает следующие этапы:

1. Составляют перечень функций, которые реализует АСУ.

2. В АСУ выделяют составные части, подсистемы (рис. 3). Для каждой составной части определяют контролируемые входные и выходные сигналы, перечень реализуемых функций. Уровни контроли-

руемых входных и выходных сигналов характеризуют способность подсистемы выполнять все заданные функции.

3. Создают математические модели для контроля работоспособности подсистем АСУ. Математическая модель устанавливает зависимость между уровнями контролируемых входных x_{ij} и выходных y_{ij} сигналов и логической переменной F_i , которая описывает работоспособное или неработоспособное состояние i -й подсистемы:

$$F_i = F_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}, y_{in+1}, y_{in+2}, \dots, y_{in+k}), \quad (3)$$

где $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ - сигналы на входе i -й подсистемы; $y_{in+1}, y_{in+2}, \dots, y_{in+k}$ - сигналы на выходе i -й подсистемы; $F_i = 0/1$, 0 - если произошел отказ, 1 - если i -я подсистема работоспособна.

Математическая модель контроля работоспособности реализована в виде алго-

ритма. Блок-схема алгоритма вычисления функции F_i приведена на рис. 4. В алго-

ритме min и max - соответственно нижняя и верхняя границы изменения входных и

выходных сигналов i -й подсистемы в работоспособном состоянии.

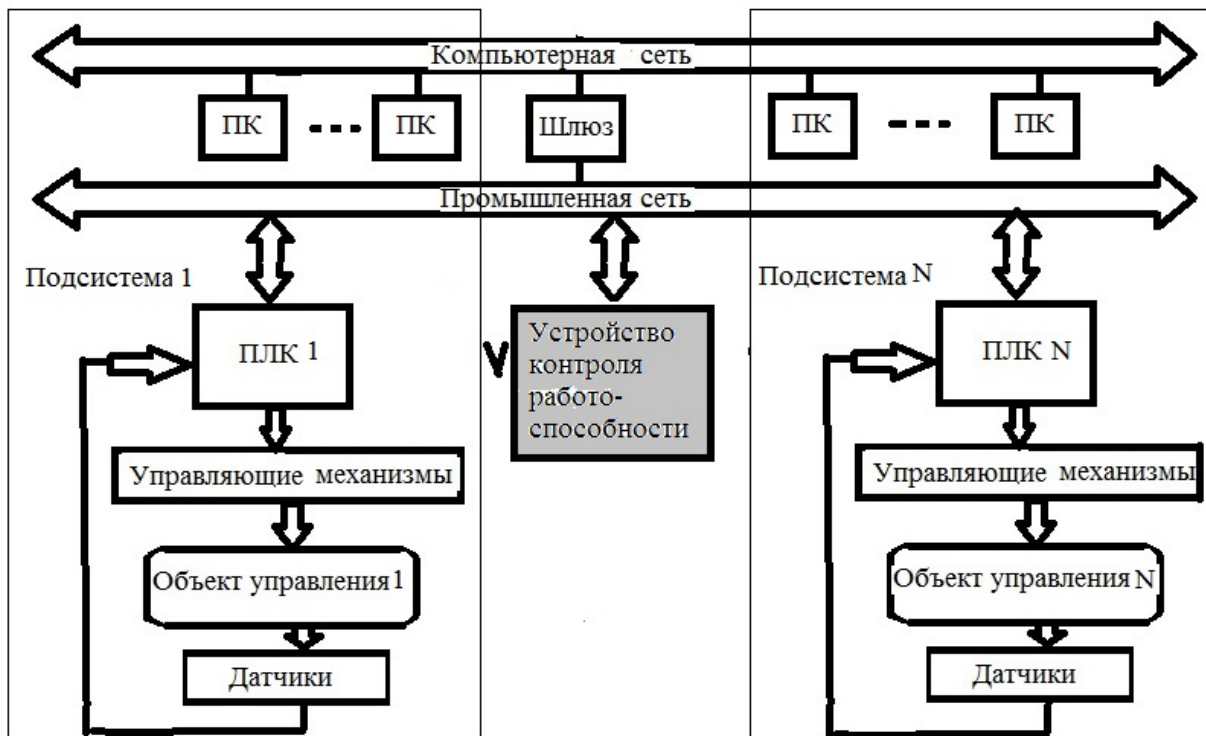


Рис. 3. Выделение подсистем в составе АСУ

По значениям логических переменных F_i вычисляется функция S , которая описывает работоспособное или неработоспособное состояние АСУ:

$$S = \bigcap F_i \quad (4)$$

где F_i описывает работоспособное или неработоспособное состояние i -й подсистемы. АСУ работоспособна, если работоспособны все ее подсистемы.

Для реализации алгоритма контроля работоспособности использовалась ИНС особой многослойной структуры. ИНС строится по слоям. В i -м слое вычисляется функция F_i . Наборы значений $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}, y_{in+1}, y_{in+2}, \dots, y_{in+k}, F_i)$ образуют обучающую выборку для i -го слоя.

4. По математическим моделям формируют обучающую выборку для ИНС в автоматическом режиме, без участия человека. Обучающая выборка представляет собой набор пар входы-выходы, элементами которых являются векторы входных данных для искусственной нейронной сети и векторы выходов искусственной нейронной

сети в результате ее функционирования.

5. По обучающей выборке строится искусственная нейронная сеть, которая по входным и выходным сигналам подсистем способна определить работоспособность или отказ АСУ (рис. 5).

Нейронная сеть может быть реализована аппаратно, программно или аппаратно-программным способом. Выбрана аппаратно-программная реализация ИНС. Нейронная сеть позволяет выполнять параллельную обработку информации и принимать решение на основе обучающей выборки.

Размер искусственной нейронной сети зависит от сложности АСУ и может быть достаточно большим. В связи с этим возникает проблема обучения большой искусственной нейронной сети. Обучение искусственной нейронной сети проводится на обучающей выборке по слоям. В настоящее время формирование обучающих примеров выполняется в ручном режиме, что чрезвычайно трудоемко. Автоматизация процесса обучения искусственной

нейронной сети является актуальной задачей. Для решения этой задачи разработан новый способ обучения искусственной нейронной сети, который включает два этапа.

На первом этапе используется математическая модель для контроля работоспособного состояния АСУ (3, 4), по которой создается обучающая выборка в автоматическом режиме, без участия человека.

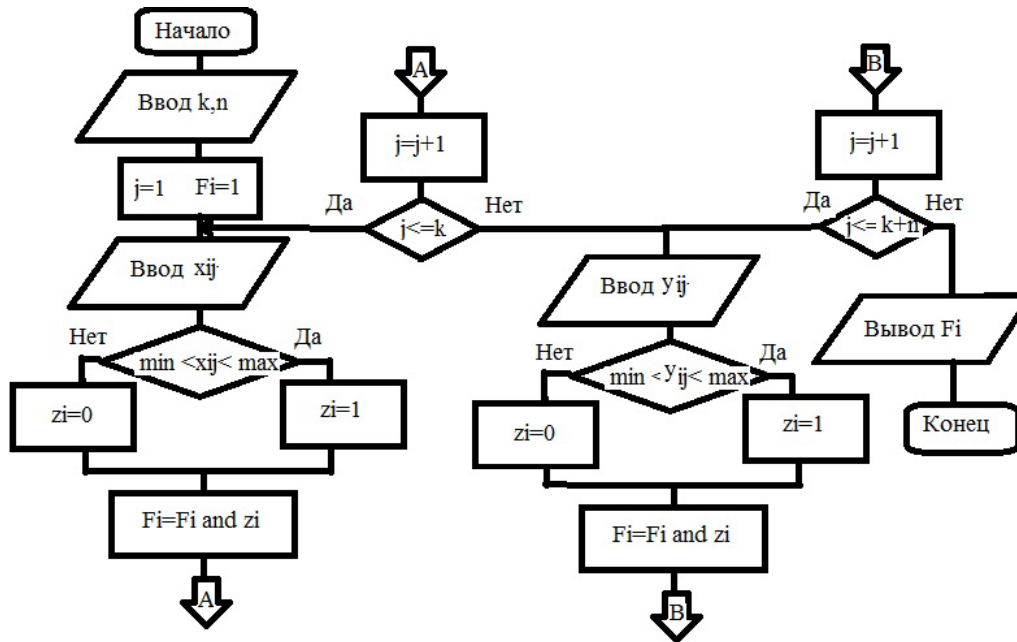


Рис. 4. Алгоритм вычисления функции F_i

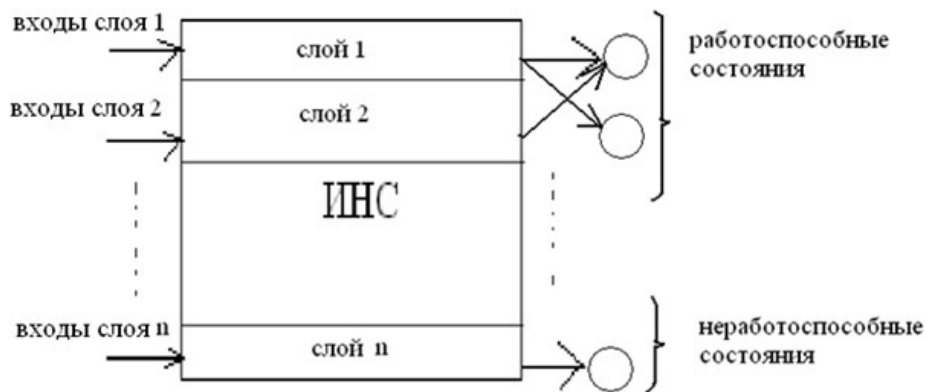


Рис. 5. ИНС для контроля работоспособности АСУ

На втором этапе по обучающей выборке строится искусственная нейронная сеть, которая по входным и выходным

сигналам подсистем способна определить работоспособность и отказ АСУ.

Заключение

Разработан новый способ контроля работоспособности АСУ. Он основан на применении обученной искусственной нейронной сети со слоистой структурой и включает следующие этапы:

1. Составляют перечень функций, которые реализует АСУ.

2. В АСУ выделяют подсистемы, которые реализуют все перечисленные функции. Для каждой подсистемы определяют контролируемые входные и выходные сигналы. Уровни контролируемых входных и выходных сигналов характеризуют способность подсистемы выполнять все заданные функции. Определяют ниж-

нюю и верхнюю границы контролируемых входных и выходных сигналов в работоспособном состоянии. Выход сигналов за определенные границы является признаком отказа подсистемы.

3. Создают математические модели для контроля работоспособности подсистем АСУ. Математическая модель связывает уровни контролируемых входных и выходных сигналов и работоспособное или неработоспособное состояние подсистемы.

4. По математическим моделям формируется обучающая выборка для ИНС в автоматическом режиме, без участия человека. Обучающая выборка представляют

собой набор пар входы-выходы, элементами которых являются векторы входных данных для искусственной нейронной сети и векторы выходов искусственной нейронной сети в результате ее функционирования.

5. По обучающей выборке строится искусственная нейронная сеть, которая по входным и выходным сигналам подсистемы способна определить ее работоспособность или отказ.

Нейронная сеть реализована аппаратно-программным способом. Она позволяет выполнять параллельную обработку информации и контролировать работоспособность АСУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабак, И.С. Создание больших аппаратно-программных нейронных сетей для систем управления / И.С. Кабак // *Авиационная промышленность*. - 2012. - № 4. - С. 57-61.
2. Кабак, И.С. Математическая модель для прогнозирования и оценки надежности программного обеспечения / И.С. Кабак // *Вестник МГТУ «Станкин»*. - 2014. - № 1 (28). - С. 123-126.
3. Кабак, И.С. Технология реализации автоматизированных систем управления на базе больших искусственных нейронных сетей МОДУС-НС / И.С. Кабак, Н.В. Суханова // *Межотраслевая информационная служба*. - 2012. - № 4. - С. 43-47.
4. Нейронная сеть: пат. на полез. модель № 66831: приоритет 02.04.07 / Кабак И.С., Суханова Н.В. // *Бюл. изобрет. и ПМ*. - 3 с.
5. Доменная нейронная сеть: пат. на полез. модель № 72084: приоритет 03.12.07 / Кабак И.С., Суханова Н.В. // *Бюл. изобрет. и ПМ*. - 3 с.
6. Модульная вычислительная система: пат. на полез. модель №75247: приоритет 26.12.08 / Кабак И.С., Суханова Н.В. // *Бюл. изобрет. и ПМ*. - 5 с.
7. Кабак, И.С. Аппаратная реализация ассоциативной памяти произвольного размера / И.С. Кабак, Н.В. Суханова // *Вестник МГТУ «Станкин»*. - 2010. - № 1. - С. 135-139.
8. Кабак, И.С. Применение нейронных сетей при диагностике состояния режущего инструмента / И.С. Кабак, Н.В. Суханова, А.М. Гаделев // *Известия Кабардино-Балкарского государственного университета*. - 2012. - Т. 2. - № 4. - С. 77-79.
9. Кабак, И.С. Методика применения аппарата нейронных сетей для решения задач диагностики процесса резания / И.С. Кабак, Н.В. Суханова, А.М. Гаделев // *Вестник МГТУ «Станкин»*. - 2012. - № 4 (22). - С. 130-133.
10. Кабак, И.С. Система диагностики технологического процесса резания с использованием аппарата нейронных сетей / И.С. Кабак, А.М. Гаделев // *Мехатроника, автоматизация, управление*. - 2012. - № 10. - С. 25-29.
11. Многослойная модульная вычислительная система: пат. на изобрет. № 2398281: приоритет 07.11.08 / Соломенцев Ю.М., Шептунов С.А., Кабак И.С., Суханова Н.В. // *Бюл. изобрет. и ПМ*. - 5 с.
12. Соломенцев, Ю.М. Повышение быстродействия суперкомпьютера за счет оптимизации информационного межпроцессорного трафика / Ю.М. Соломенцев, С.А. Шептунов, И.С. Кабак, Н.В. Суханова // *Известия Кабардино-Балкарского государственного университета*. - 2012. - Т. 2. - № 4. - С. 71-73.
13. Степанов, С.Ю. Алгоритм фрагментации больших нейронных сетей и исследование его сходимости / С.Ю. Степанов, И.С. Кабак // *Информационные технологии*. - 2012. - № 7. - С. 73-78.
14. Sheptunov, S.A. Optimimization of the Complex Software Reliability of Control Systems / S.A. Sheptunov, M.V. Larionov, N.V. Sukhanova, I.S. Kabak, D.A. Alshinbaeva // *IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies*. - 2016. - P. 225-228.
15. Sheptunov, S.A. Simulating of Reliability of Robotics System Software on Basis of Artificial Intelligence / S.A. Sheptunov, M.V. Larionov, N.V. Sukhanova, M.R. Salakhov, Y.M. Solomentsev, I.S. Kabak // *IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies*. - 2016. - P. 220-224.
16. Solomentsev, Yu.M. Assessing the Reliability of CAD Software by Means of Neural Networks / Yu.M. Solomentsev, I.S. Kabak, N.V. Sukhanova // *Russian Engineering Research*. - 2015. - № 12.

17. Тихонов, В.И. Статистическая радиотехника / В.И. Тихонов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1982. - 624 с.
18. Никифоров, И.В. Применение кумулятивных сумм для обнаружения изменения характеристики случайного процесса / И.В. Никифоров // Автоматика и телемеханика. - 1979. - № 2. - С. 48-58.
1. Kabak, I.S. Creation of large hardware-software neural networks for control systems / I.S. Kabak // *Aircraft Industry*. - 2012. - No.4. - pp. 57-61.
2. Kabak, I.S. Simulator for prediction and assessment of software reliability / I.S. Kabak // *Bulletin of MSTU "Stankin"*. - 2014. No.1(28). - pp. 123-126.
3. Kabak, I.S. Technology of automated control system realization based on large artificial neural networks MODUS-NS / I.S. Kabak, N.V. Sukhanova // *Inter-branch Information Service*. - 2012. - No.4. - pp. 43-47.
4. Neural network: Pat. for utility model No. 66831: priority 02.04.07 / Kabak I.S., Sukhanova N.V. // *Bull. of Inventions and Utility Model*. - pp. 3.
5. Domain neural network: Pat. for utility model No. 72084: priority 03.12.07 / Kabak I.S., Sukhanova N.V. // *Bull. for Inventions and Utility Model*. - pp. 3.
6. Modular computer system: Pat. for utility model No. 75247: priority 26.12.08 / Kabak I.S., Sukhanova N.V. // *Bulletin of Inventions and Utility Models*. - pp. 5.
7. Kabak, I.S. Hardware realization of associative memory with arbitrary dimension / I.S. Kabak, N.V. Sukhanova // *Bulletin of MSTU "Stankin"*. - 2010. - No.1. - pp. 135-139.
8. Kabak I.S. Neural network application at cutter state diagnostics / I.S. Kabak, N.V. Sukhanova, A.M. Gadelev // *Proceedings of Kabardino-Balkaria State University*. - 2012. - Vol.2. - No.4. - pp. 77-79.
9. Kabak, I.S. Procedure for neural network apparatus application for solution of cutting process diagnostics problems / I.S. Kabak, N.V. Sukhanova, A.M. Gadelev // *Bulletin of MSTU "Stankin"*. - 2012. - No.4(22). - pp. 130-133.
10. Kabak, I.S. Diagnostics system of cutting engineering process using neural network apparatus / I.S. Kabak, A.M. Gadelev // *Mechatronics, Automation, Management*. - 2012. - No.10. - pp. 25-29.
11. Multi-layer modular computer system: Pa. for Invention No. 2398281: priority 07.11.08 / Solomentsev Yu.M., Sheptunov S.A., Kabak I.S., Sukhanova N.V. // *Bull. of Inventions and Utility Models*. - pp. 5.
12. Solomentsev Yu.M. Super-computer operation speed increase due to optimization of information inter-processor traffic / Yu.M. Solomentsev, S.A. Sheptunov, I.S. Kabak, N.V. Sukhanova // *Proceedings of Kabardino-Balkaria State University*. - 2012. - Vol.2. - No.4. - pp. 71-73.
4. Stepanov, S.Yu. Algorithm of large neural network fragmentation and investigation of its convergence / S.Yu. Stepanov, I.S. Kabak // *Information Technologies*. - 2012. - No.7. - pp. 73-78.
13. Sheptunov, S.A. Optimimization of the Complex Software Reliability of Control Systems / S.A. Sheptunov, M.V. Larionov, N.V. Sukhanova, I.S. Kabak, D.A. Alshinbaeva // *IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies*. - 2016. - P. 225-228.
14. Sheptunov, S.A. Simulating of Reliability of Robotics System Software on Basis of Artificial Intelligence / S.A. Sheptunov, M.V. Larionov, N.V. Sukhanova, M.R. Salakhov, Y.M. Solomentsev, I.S. Kabak // *IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies*. - 2016. - P. 220-224.
15. Solomentsev, Yu.M. Assessing the Reliability of CAD Software by Means of Neural Networks / Yu.M. Solomentsev, I.S. Kabak, N.V. Sukhanova // *Russian Engineering Research*. - 2015. - № 12.
16. Tikhonov, V.I. Statistical radio-engineering / V.I. Tikhonov. - 2-d Edition revised and expanded. - M.: *Radio and Connection*, 1982. - pp. 624.
17. Nikiforov, I.V. Cumulative sum application for detection of changes in random process characteristics / I.V. Nikiforov // *Automation and Telemechanics*. - 1979. - No.2. - pp. 48-58.

Статья поступила в редакцию 6.07.18.

Рецензент: д.т.н., профессор

Барский А.Б.

Статья принята к публикации 7.08.18.

Сведения об авторах:

Суханова Наталия Вячеславовна, к.т.н., доцент кафедры «Компьютерные системы управления» Московского государственного технологического университета «Станкин», e-mail: N_v_sukhanova@mail.ru.

Sukhanova Nataliya Vyacheslavovna, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. "Computer Control Systems", Moscow State Technological University "Stankin", e-mail: N_v_sukhanova@mail.ru.