

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В статье разработаны структурные схемы и обоснован выбор типа нейронных сетей, которые являются составляющими систем поддержки принятия решений при функционировании сложных систем. Рассмотрено назначение составляющих элементов структурных схем, преимущества и недостатки нейронных сетей, место человека-оператора при принятии решений. При этом процесс принятия решений осуществляется на основе знаний и данных, накопленных системой поддержки принятия решений в процессе эксплуатации сложных систем, которые не имеют конечного значения, а так же при участии оператора, когда знания и опыт нельзя представить на машинном уровне.

Ключевые слова: нейронные сети, система поддержки принятия решений, сложная система.

Введение и постановка задачи исследования. Интенсивное внедрение средств автоматизации в различные сферы промышленности и военное дело при использовании вычислительных средств четвертого и пятого поколений постоянно корректирует взгляды на роль человека-оператора в сложных технических системах. Происходит постепенное вытеснение человека из сфер деятельности при выполнении механических работ, обработке информации. Изменяется соотношение между функциями, выполняемыми оператором и техническими средствами при подготовке и принятии решений (ПР) [3].

Повышение качества и сокращение времени принятия решений при управлении

промышленными комплексами и сложными техническими системами различного назначения в настоящее время невозможно без разработки эффективных программных и аппаратных средств, обеспечивающих (поддерживающих) деятельность лица принимающего решение (ЛПР). Особенно остро стоит эта проблема при ПР в автоматизированных системах управления (АСУ) реального времени (АСУ управления воздушным движением; АСУ энергетическими объектами, в том числе атомными электростанциями; АСУ военного назначения и т.п.), где дефицит времени ощущается особенно сильно, а последствия при несвоевременном или неправильном ПР могут быть катастрофическими.

В связи с этим появилось новое научное направление – интеллектуальные системы поддержки принятия решений (СППР). Основной задачей этого направления является разработка программно-аппаратных средств, оказывающих помощь специалистам в процессе подготовки и выбора рациональных решений в сложных ситуациях, возникающих при функционировании АСУ реального времени, на основе знаний, накопленных специалистами-экспертами и обработанных вычислительными средствами [5]. Одним из аспектов реализации таких СППР является разработка структурных схем на базе нейронных сетей.

Основные результаты исследования.

1. СППР на базе нейронных сетей по принципу управления по возмущению представлена на рис. 1:

Описание структуры:

Задающее устройство представлено любыми автоматическими или полуавтоматическими средствами сбора и передачи информации. На выходе у задающего устройства нечеткая информация о происходящем (системы организационно-экономического или административного управления, системы управления техническими процессами, данные о политической ситуации и так далее).

Нейроны элемента сравнения – нейронная сеть типа «Нейронный газ», осуществляющая задачу адаптивной кластеризации исходных данных, то есть определяющая необходимое количество данных, исходя из их особенностей, и распределяющая данные по группам в зависимости от их типа, то есть сравнивающая полученную информацию с заданной в процессе обучения. При этом количество и расположение искусственных нейронов не задается заранее, а вычисляется в процессе обучения в соответствии с особенностями входных данных, самостоятельно подстраиваясь под них – это главный аргумент для использования нейронной сети именно такого типа. На выходе у этого структурного элемента будет вектор кластеризированной информации (размерность вектора зависит от количества поступающих данных), которую нужно передать каналу управления.

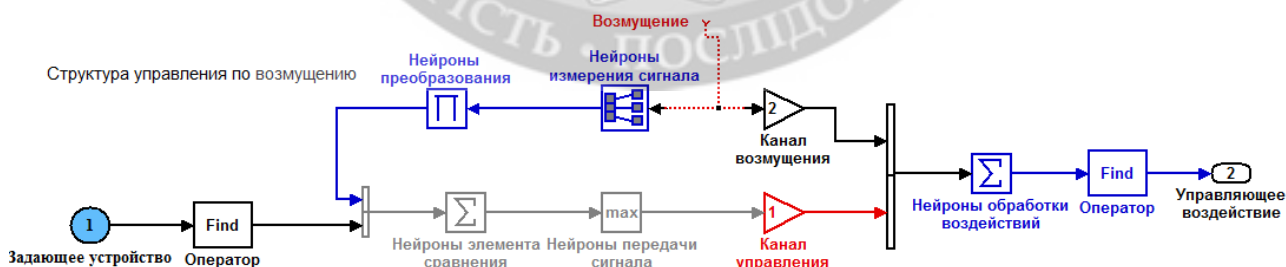


Рис. 1. Структурная схема СППР на базе нейронных сетей по принципу управления по возмущению

Нейроны передачи сигнала – нейронная сеть типа «Сеть Хопфилда». Сети Хопфилда работают до достижения равновесия и стремятся к равновесию на ограниченном периоде времени, что позволяет передать необходимую информацию в каналы управления за заранее заданное время. На вход нейронной сети идет кластеризированная информация от нейронов элемента сравнения, данная нейронная сеть позволяет усилить сигнал и передать его в формате уровня соответствия входящей информации всем известным типам угроз. Таким

образом, для N существующих типов угроз на выходе этого элемента структуры будет вектор из N элементов, i -ый элемент которого характеризует соответствие информации i -ому типу угрозы [1].

Нейроны измерения сигнала – нейронная сеть типа «Нейронный газ», работает по принципу, аналогичному нейронам элемента сравнения. На вход поступает нечеткая информация возмущающего фактора, которая передается по каналам возмущения нейрону обработки воздействий и через нейроны измерения и преобразования сигнала – в нейроны элемента сравнения. Данная нейронная сеть классифицирует сигнал возмущения исходя из типа сигнала, на выходе будет вектор кластеризированной информации (размерность вектора зависит от количества поступающих данных).

Нейроны преобразования – нейронная сеть типа «Сеть Хопфилда», работает по принципу достижения равновесия и стремится к равновесию на ограниченном периоде времени, что позволяет передать необходимую информацию в каналы управления за заранее заданное время. На выходе у нейронной сети информация об интенсивности сигнала и соответствии сигнала типу угрозы, т.е. вектор из $N+1$ элементов: первые N – это соответствие сигнала i -ому типу угрозы, $N+1$ -й – уровень интенсивности сигнала. Таким образом, осуществляется обратная связь в системе, т.к. дополнительно на вход к элементам сравнения поступает информация из возмущающего источника данных, активизирующая работу этой нейронной сети [1].

Нейроны обработки воздействий – нейронная сеть типа «Сеть Фальмана», осуществляющая подбор управленческого решения на основании анализа декомпозиции данных из канала управления и канала воздействия. Сеть анализирует изменения, возникающие в состоянии системы после применения информации из канала возмущения, распознавая таким образом угрозы для стабильности системы, и осуществляет выбор воздействия, необходимого для возвращения системы в стабильное состояние. Выбор именно этой сети обусловлен эффективностью ее применения в сложных задачах распознавания образов, связанных с отклонением системы от стабильного состояния (распознавание болезней у человека → отклонение здоровья человека от стабильного положения, и т.д.).

Оператор отслеживает и корректирует процесс выработки альтернативных решений с целью преодоления неопределенности возникающих ПР, умении разрешить нестандартные ситуации, гибко подходить к формулированию целей и задач управления. Данные преимущества необходимо рассматривать как продукт развитого мышления, которое является не дизъюнктивным и не может в полной мере формализоваться для реализации техническими средствами.

2. СППР на базе нейронных сетей по задающему воздействию представлена на рис. 2:

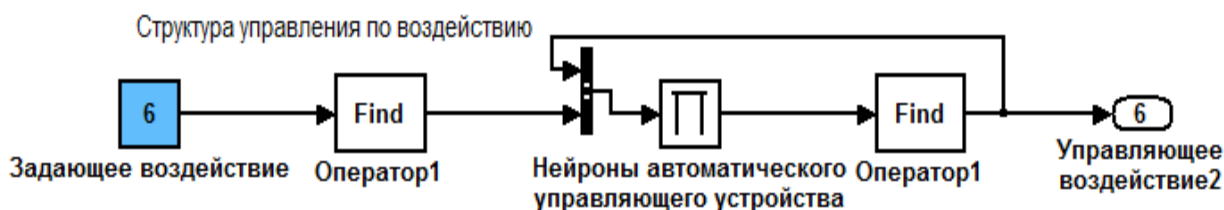


Рис. 2. Структурная схема СППР на базе нейронных сетей по задающему воздействию

Описание структуры:

Задающее устройство представлено любыми автоматическими или полуавтоматическими средствами сбора и передачи информации. На выходе у задающего устройства детерминированное воздействие на конкретный элемент системы.

Нейроны автоматического управляющего устройства – совокупность нейронных сетей, осуществляющих структурные и параметрические преобразования на основании

задающего воздействия. Учитывая специфику данного типа структуры, одним из вариантов построения автоматического управляющего устройства будет такая последовательность нейронных сетей:

- **сеть Фальмана**, осуществляющая структурные преобразования сети. Поскольку информация в систему вводится уже в детерминированном виде (специфика выбора данной структуры), нет необходимости проводить кластеризацию с помощью нейронного газа, поэтому информация сразу передается в сеть Фальмана. Данная сеть, адаптированная для сложных задач распознавания образов, видоизменяет структуру в соответствии с управляющим воздействием;

- **осцилляторная нейронная сеть**, осуществляющая стабилизацию системы после изменений ее структуры. Данная нейронная сеть предназначена для симуляции колебательных процессов, возникающих в системе вследствие какого-то внешнего воздействия. Выходом этой нейронной сети и данной подсистемы вообще будет вектор стабилизированных (с нулевой или близкой к нулю амплитуде колебаний) значений соответствия текущего состояния системы необходимости осуществить соответствующее управляющее воздействие;

- сеть типа **неокогнитрон**, осуществляющая обратную связь. Задача нейронов элемента обратной связи заключается в передаче существенной информации о предыдущем управленческом воздействии, т.е. распознавание текущего состояния системы относительно предыдущего с учетом полученной информации. Выход из элемента обратной связи осуществляется на вход сети Фальмана при следующем внешнем воздействии.

Основные преимущества:

- является устойчивой по отношению к любому рода возмущениям в случае адекватности результатов работы нейронной сети;
- эффективное использование в ситуациях изменения требуемых значений управляющих величин.

Основные недостатки:

- нецелесообразность использования нейронной сети для передачи структуры автоматического управляющего устройства;
- строгое использование детерминированных данных, вследствие чего область применения такой структуры нейронной сети ограничивается детерминированными характеристиками объектов.

3. СППР на базе нейронных сетей по отклонению представлена на рис. 3:

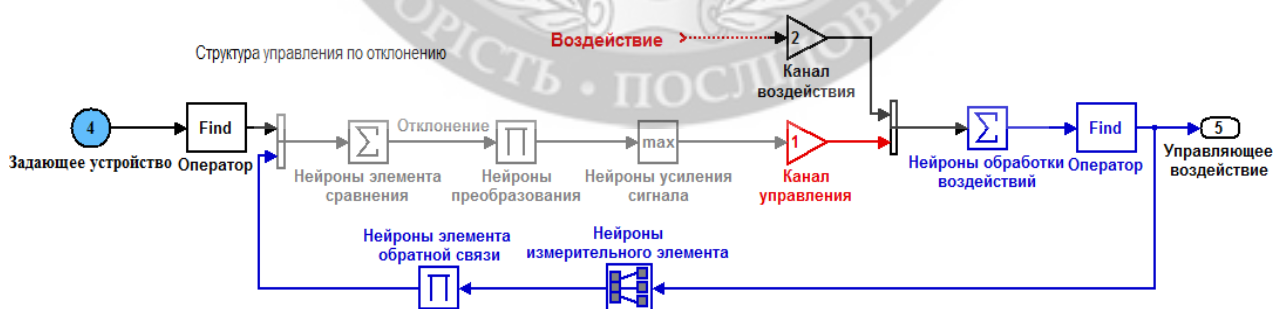


Рис. 3. Структурная схема СППР на базе нейронных сетей по отклонению

Описание структуры:

Задающее устройство представлено любыми автоматическими или полуавтоматическими средствами сбора и передачи информации. На выходе у задающего устройства нечеткая информация о происходящем (системы организационно-экономического или административного управления, системы управления техническими процессами, данные о политической ситуации и так далее).

Нейроны элемента сравнения – нейронная сеть типа «Нейронный газ»,

осуществляющая задачу адаптивной кластеризации исходных данных, то есть определяющая необходимое количество данных, исходя из их особенностей, и распределяющая данные по группам в зависимости от их типа, то есть сравнивающая полученную информацию с заданной в процессе обучения. При этом количество и расположение искусственных нейронов не задается заранее, а вычисляется в процессе обучения в соответствии с особенностями входных данных, самостоятельно подстраиваясь под них – это главный аргумент для использования нейронной сети именно такого типа. На выходе у этого структурного элемента будет вектор кластеризированной информации (размерность вектора зависит от количества поступающих данных), которую нужно передать каналу управления.

Нейроны преобразования – нейронная сеть типа «Сеть Хопфилда», работает по принципу достижения равновесия и стремится к равновесию на ограниченном периоде времени, что позволяет передать необходимую информацию в каналы управления за заранее заданное время. На выходе у нейронной сети информация об интенсивности сигнала и соответствии сигнала типу угрозы, т.е. вектор из $N+1$ элементов: первые N – это соответствие сигнала i -ому типу угрозы, $N+1$ -й – уровень интенсивности сигнала. Таким образом, осуществляется обратная связь в системе, т.к. дополнительно на вход к элементам сравнения поступает информация из нейронов элемента обратной связи, активизирующая работу этой нейронной сети [1, 4].

Нейроны усиления сигнала – нейронная сеть типа «Сеть Элмана». Рекуррентная сеть имеет встроенные обратные связи и адаптирована для использования в соответствующих структурах с обратной связью. Оптимально используется для выработки правильной стратегии управления путем запоминания предыстории наблюдаемых процессов. В данной схеме передает через канал управления всю необходимую информацию из прошлых состояний системы, а также преобразованную кластеризированную информацию входных данных и обратной связи. На выходе содержит вектор из $N+M+1$ элементов, из которых $N+1$ – это размерность предыдущего выхода от нейронов преобразования, а M – размерность передаваемых данных из прошлых состояний системы.

Нейроны обработки воздействий – нейронная сеть типа «Сеть Фальмана», осуществляющая подбор управленческого решения на основании анализа декомпозиции данных из канала управления и канала воздействия. Сеть анализирует отклонения, возникающие в состоянии системы после применения информации из канала воздействия, распознавая таким образом угрозы для стабильности системы, и осуществляет выбор воздействия, необходимого для возвращения системы в стабильное состояние. Выбор именно этой сети обусловлен эффективностью ее применения в сложных задачах распознавая образов, связанных с отклонением системы от стабильного состояния (распознавание болезней у человека – отклонение здоровья человека от стабильного положения, и т.д.).

Нейроны измерительного элемента – нейронная сеть типа «Нейронный газ», работает по принципу, аналогичному нейронам элемента сравнения. Поскольку на выходе нейронной сети Фальмана, предназначенной для выбора управленческого воздействия, находится вектор нечеткой информации соответствия текущего состояния системы необходимости применения соответствующего управляющего воздействия, нейронный газ решает задачу кластеризации полученной информации для дальнейшей работы обратной связи. Информация разбивается по типу и значению данных, а также может включать реакцию системы на применение соответствующего управленческого воздействия на предыдущем шагу. На выходе сети будет вектор кластеризированной информации (размерность вектора зависит от количества поступающих данных).

Нейроны элемента обратной связи – нейронная сеть типа «Неокогнитрон», способная к робастному распознаванию образов. Кластеризированная информация от нейронов измерительного элемента должна быть собрана в единый блок, предоставляемый основной системе как результат обратной связи. Задача нейронов элемента обратной связи заключается в передаче существенной информации о предыдущем управленческом

воздействии, т.е. распознавание текущего состояния системы относительно предыдущего с учетом полученной информации. Таким образом, обратная связь позволяет устранить отклонение, возникшее в системе на данном шагу, для возвращения системы в стабильное состояние.

Основные преимущества:

- уменьшения отклонения от стабильного состояние вне зависимости от факторов, которыми вызвано отклонение, в случае результирующего обучения нейронной сети;
- малочувствительна по отношению к изменению значений параметров элементов системы и незначительных элементов структуры нейронной сети.

Основные недостатки:

- необходимость проверки устойчивости построенной нейронной сети;
- при использовании недетерминированных данных точность решения (т.е. эффективность управляющего воздействия) может существенно уменьшится.

4. СППР на базе нейронных сетей комбинированная:

4а) СППР на базе нейронных сетей по принципу комбинированной структуры со связью по возмущению представлена на рис. 4:

Задающее устройство представлено любыми автоматическими или полуавтоматическими средствами сбора и передачи информации. На выходе у задающего устройства нечеткая информация о происходящем (системы организационно-экономического или административного управления, системы управления техническими процессами, данные о политической ситуации и так далее).

Нейроны элемента сравнения – нейронная сеть типа «Нейронный газ», осуществляющая задачу адаптивной кластеризации исходных данных, то есть определяющая необходимое количество данных, исходя из их особенностей, и распределяющая данные по группам в зависимости от их типа, то есть сравнивающая полученную информацию с заданной в процессе обучения. При этом количество и расположение искусственных нейронов не задается заранее, а вычисляется в процессе обучения в соответствии с особенностями входных данных, самостоятельно подстраиваясь под них – это главный аргумент для использования нейронной сети именно такого типа. На выходе у этого структурного элемента будет вектор кластеризированной информации (размерность вектора зависит от количества поступающих данных), которую нужно передать каналу управления.

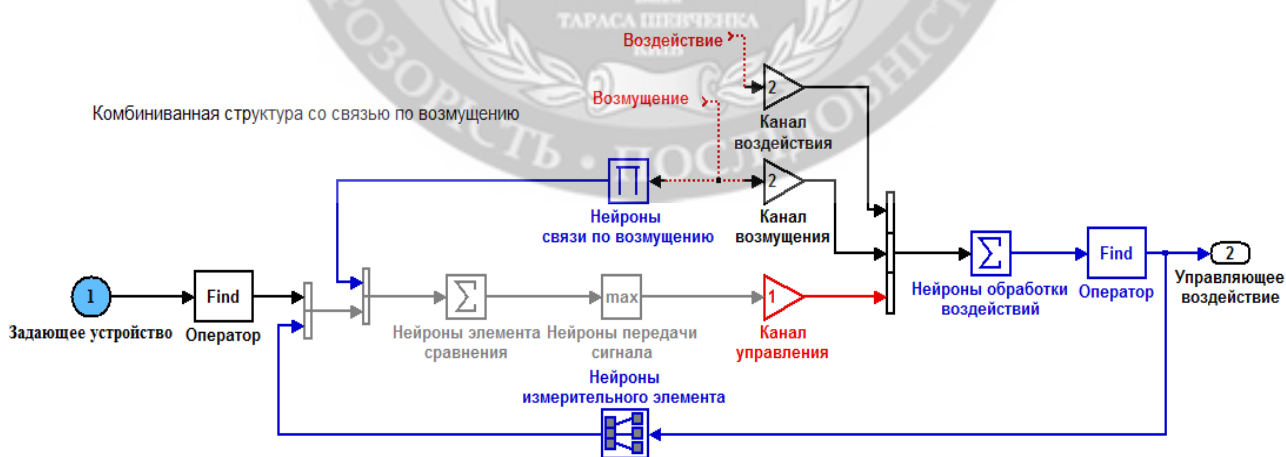


Рис. 4. Структурная схема СППР на базе нейронных сетей по принципу комбинированной структуры со связью по возмущению

Нейроны преобразования – нейронная сеть типа «Сеть Хопфилда», работает по принципу достижения равновесия и стремится к равновесию на ограниченном периоде времени, что позволяет передать необходимую информацию в каналы управления за заранее заданное время. На выходе у нейронной сети информация об интенсивности сигнала и

соответствии сигнала типу угрозы, т.е. вектор из $N+1$ элементов: первые N – это соответствие сигнала i -ому типу угрозы, $N+1$ -й – уровень интенсивности сигнала. Таким образом, осуществляется обратная связь в системе, т.к. дополнительно на вход к элементам сравнения поступает информация из нейронов элемента обратной связи, активизирующая работу этой нейронной сети [1, 4].

Нейроны обработки воздействий – нейронная сеть типа «Сеть Фальмана», осуществляющая подбор управленческого решения на основании анализа декомпозиции данных из канала управления и канала воздействия. Сеть анализирует отклонения, возникающие в состоянии системы после применения информации из канала воздействия, распознавая таким образом угрозы для стабильности системы, и осуществляет выбор воздействия, необходимого для возвращения системы в стабильное состояние. Выбор именно этой сети обусловлен эффективностью ее применения в сложных задачах распознавая образов, связанных с отклонением системы от стабильного состояния (распознавание болезней у человека – отклонение здоровья человека от стабильного положения, и т.д.).

Нейроны измерительного элемента – нейронная сеть типа «Нейронный газ», работает по принципу, аналогичному нейронам элемента сравнения. Поскольку на выходе нейронной сети Фальмана, предназначенной для выбора управленческого воздействия, находится вектор нечеткой информации соответствия текущего состояния системы необходимости применения соответствующего управляющего воздействия, нейронный газ решает задачу кластеризации полученной информации для дальнейшей работы обратной связи. Информация разбивается по типу и значению данных, а также может включать реакцию системы на применение соответствующего управленческого воздействия на предыдущем шагу [4, 6]. На выходе сети будет вектор кластеризированной информации (размерность вектора зависит от количества поступающих данных).

Нейроны связи по возмущению – нейронная сеть типа «Сеть радиальных базисных функций (RBF-сеть)», решающая задачу классификации поступившей информации соответствия возмущающего сигнала определенному типу угроз. Результатом работы сети будет соответствие состояния системы определенному типу угрозы. Т.е. для имеющихся N типов угроз на выходе будет вектор из N элементов, в i -ый элемент которого будет характеризовать соответствие состояния i -ой угрозе.

4б) СППР на базе нейронных сетей по принципу комбинированной структуры со связью по возмущению представлена на рис. 5:

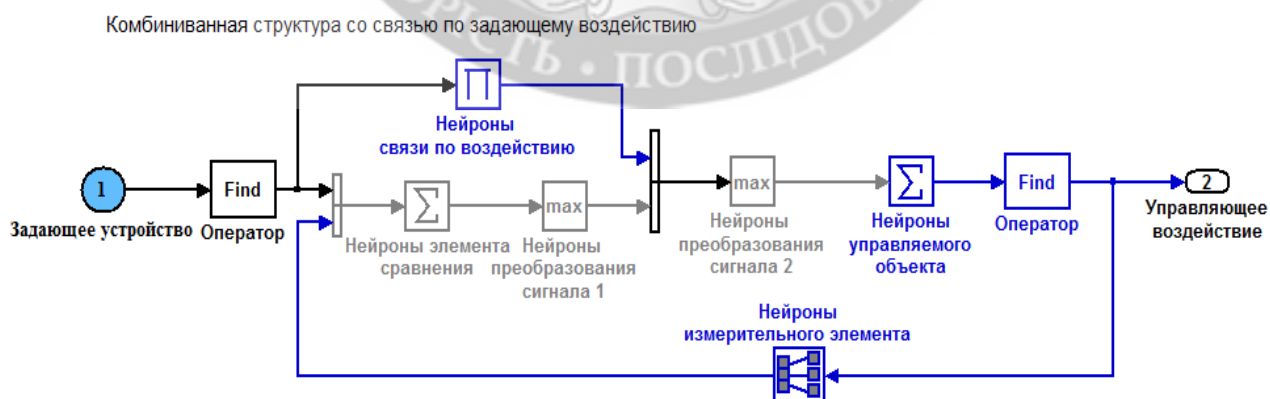


Рис. 5. Структурная схема СППР на базе нейронных сетей по принципу комбинированной структуры со связью по возмущению

Задающее устройство представлено любыми автоматическими или полуавтоматическими средствами сбора и передачи информации. На выходе у задающего устройства детерминированное воздействие на конкретный элемент системы.

Нейроны элемента сравнения – нейронная сеть типа «**Нейронный газ**», осуществляющая задачу адаптивной кластеризации исходных данных, то есть определяющая необходимое количество данных, исходя из их особенностей, и распределяющая данные по группам в зависимости от их типа, то есть сравнивающая полученную информацию с заданной в процессе обучения. При этом количество и расположение искусственных нейронов не задается заранее, а вычисляется в процессе обучения в соответствии с особенностями входных данных, самостоятельно подстраиваясь под них – это главный аргумент для использования нейронной сети именно такого типа. На выходе у этого структурного элемента будет вектор кластеризированной информации (размерность вектора зависит от количества поступающих данных), которую нужно передать каналу управления.

Нейроны преобразования сигнала 1 – нейронная сеть типа «**Сеть Хопфилда**», работает по принципу достижения равновесия и стремится к равновесию на ограниченном периоде времени, что позволяет передать необходимую информацию в каналы управления за заранее заданное время. На выходе у нейронной сети информация об интенсивности сигнала и соответствии сигнала типу угрозы, т.е. вектор из $N+1$ элементов: первые N – это соответствие сигнала i -ому типу угрозы, $N+1$ -й – уровень интенсивности сигнала. Таким образом, осуществляется обратная связь в системе, т.к. дополнительно на вход к элементам сравнения поступает информация из нейронов элемента обратной связи, активизирующая работу этой нейронной сети.

Нейроны связи по воздействию – нейронная сеть типа «**Сеть радиальных базисных функций (RBF-сеть)**», решающая задачу классификации поступившей информации соответствия внешнего воздействия определенному типу угроз. В то время как сеть Хопфилда из первого преобразования сигнала анализирует управляющее воздействие относительно прошлых, используя знания из обратной связи, данная сеть идентифицирует конкретный тип угрозы по заданному воздействию, после чего передает данные для окончательной идентификации сети Фальмана.

Нейроны преобразования сигнала 2 – нейронная сеть типа «**Сеть Фальмана**», осуществляющая структурные преобразования сети. После обработки информации нейронными сетями Хопфилда и радиальных базисных функций входные данные для сети Фальмана имеют детерминированный вид. Сама сеть Фальмана видоизменяет структуру в соответствии с управляющим воздействием, что позволяет передать данные управляемому объекту.

Нейроны управляемого объекта – нейронная сеть типа «**Когнитрон**», адаптированная для моделирования процессов зрительной коры и коры головного мозга. Задача данной нейронной сети заключается в анализе применения управленческого воздействия после изменения структуры сетью Фальмана с целью стабилизации системы. Данные о процессе стабилизации поступают в обратную связь, после чего формируется окончательное управленческое воздействие [2, 4].

Нейроны измерительного элемента – нейронная сеть типа «**Нейронный газ**», передающая информацию о процессе стабилизации процесса после изменения структуры сетью Фальмана и применения начального воздействия. На выходе сети будет вектор кластеризированной информации (размерность вектора зависит от количества поступающих данных).

Выводы. Разработка и внедрение СППР при функционировании сложных систем на базе нейронных систем включает в себя преимущества как самих СППР так и нейронных сетей, что позволяет поднять эффективность эксплуатации их целом. При этом процесс принятия решений осуществляется на основе знаний и данных, накопленных СППР в процессе эксплуатации сложных систем, которые не имеют конечного значения так и при участии оператора, когда знания и опыт нельзя представить на машинном уровне.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с.
2. Вороновский Г.К., Махотило К.В., Петрашев С.Н., Сергеев С.А. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности. Монография. – Харьков: ОСНОВА, 1997. – 112 с.
3. Герасимов Б.М., Тарасов В.А., Токарев И.В. Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта. – К.: Наукова думка, 1993. – 184 с.
4. Заенцев И.В. Нейронные сети: основные модели. – Воронеж, 1999. – 76 с.
5. Тоценко В.Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект. – К.: Наукова думка, 2002. – 382 с.
6. Хайкин Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. : Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2006. – 1104 с.

Рецензент: д.т.н., проф. Сбігнєв А.І., провідний науковий співробітник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

к.т.н., доц. **Пампуха І.В., Березовська Ю.В.**

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ФУНКЦІОНУВАННІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ НА БАЗІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

У статті розроблені структурні схеми та обґрунтовано вибір типу нейронних мереж, що є складовими систем підтримки прийняття рішень при функціонуванні складних систем. Розглянуто призначення складових елементів структурних схем, переваги та недоліки нейронних мереж, місце людини-оператора при прийнятті рішень. При цьому процес прийняття рішень здійснюється на основі знань і даних, накопичених системою підтримки прийняття рішень у процесі експлуатації складних систем, які не мають кінцевого значення, а також за участю оператора, коли знання і досвід не можна уявити на машинному рівні.

Ключові слова: нейронні мережі, система підтримки прийняття рішень, складна система.

PhD in Engineering Science, Assistant Professor **Igor Pampukha, Julia Berezovska**
TECHNOLOGICAL ASPECTS OF CONSTRUCTION OF DECISION SUPPORT SYSTEMS IN THE FUNCTION OF COMPLEX SYSTEMS BASED ON NEURAL NETWORKS

The paper developed structural schemes and justified the choice of the type of neural networks, which are components of decision support systems in the operation of complex systems. The author considered the appointment of the constituent elements of structural schemes, the advantages and disadvantages of neural networks, the place of the human operator in making decisions. The process of decision-making is based on knowledge and data accumulated by the decision support system in the operation of complex systems that do not have a finite value, as well as with the assistance of an operator when the knowledge and experience can not be present at the machine level.

Keywords: neural networks, decision support system, complex system.

E-mail: pamp@ukr.net