

УДК.681.3

Никифорова Л.Н., Петросян Э.А., Якеменко Г.В.
ОАО КАМОВ, Россия

Нейрокомпьютеры в управлении вертолетами

Развитие энергетических и маневренных возможностей современных вертолетов привели к необходимости разрабатывать системы управления вертолетами на основе передовых методов теории управления, в частности, использования нейросетей. В докладе рассматриваются различные применения нейрокомпьютеров, позволяющие расширить маневренные возможности и безопасность полета современных вертолетов.

Development of power and maneuverability potential of modern helicopters caused the need to develop helicopter control system based on comprehensive approaches of the control theory and, in particular, application of neural networks. This paper examines various neural computer applications allowing to expand the maneuverability potential and flight safety of modern helicopters.

Введение

Широкое использование нейросетей в различных сферах деятельности человека [4],[13], включая математику (решение задач линейной алгебры, решение обыкновенных дифференциальных уравнений), медицину (распознавание биосигналов, ранняя диагностика травмы сетчатки глаза), управление технологическими процессами и системами, радиотехнику (анализ и коррекция сигналов), управление движением робототехнических устройств, вариационные задачи, задачи оптимизации управления и др., позволило рассмотреть различные аспекты применения нейросетей на вертолетах. Это и вопросы автоматизации полета, и проблемы безопасности, технологические аспекты и др. Особенно важна роль нейросетей для беспилотных вертолетов, развитие которых в последние годы идет все нарастающими темпами. Первый российский беспилотный вертолета Ка-37 выполнил свой первый полет в 1997 г. и послужил прототипом для вертолета Ка-137, предназначенного для автономного полета в зоне аварий и стихийных бедствий над нефте- и газопроводами и т.п. (рис. 1).

Общие перспективы использования нейросетей в решении задач современных вертолетов

Наибольшим препятствием развитию использования нейрокомпьютеров для решения задач вертолетов служит большая, по сравнению с самолетом, сложность математической модели объекта управления.

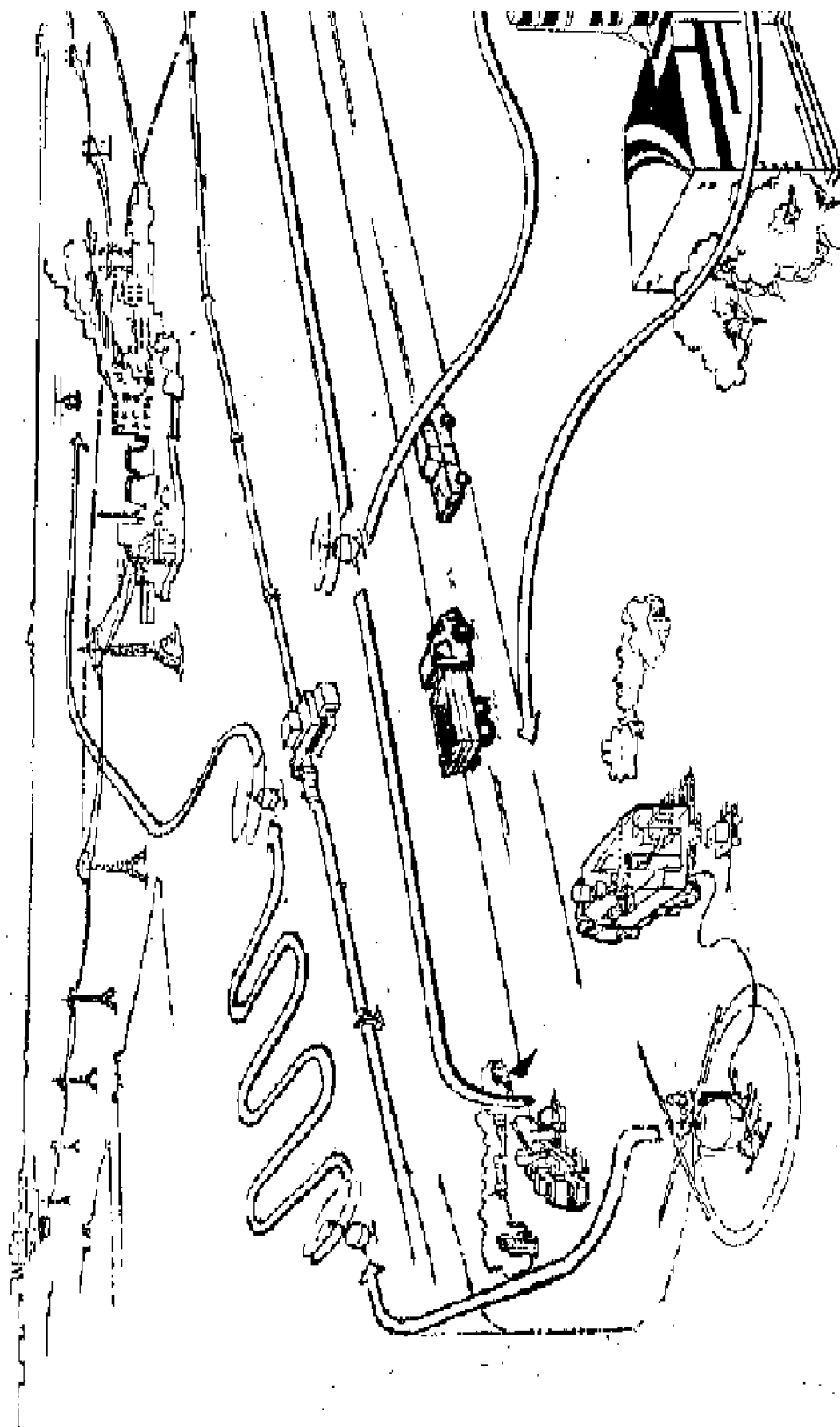


Рис. 1

Однако с увеличением роли вертолетов как летательных аппаратов, с ростом их энергетических и маневренных возможностей большое внимание ученых и инженеров было направлено на разработку таких моделей движения [2], [3], [15] и практических аспектов приложения нейрокompьютеров, которые во взаимодействии позволяют решать проблемы современных вертолетов с помощью нейросетей.

Основные направления использования нейрокompьютеров в решении задач полета вертолетов:

- 1) автоматизация выполнения отдельных режимов полета пилотируемых вертолетов, включая сложные режимы типа захода на посадку, полета по маршруту, маловысотного полета и др. [5], [6], [9], [10], [12];
- 2) автономный полет беспилотного вертолета;
- 3) точное висение и точная посадка при помощи отслеживания изображения земной поверхности;
- 4) автоматическая система предотвращения выхода за ограничения [7], [11];
- 5) определение воздушной скорости полета в диапазоне малых величин [8];
- 7) управление двигателями и полетная диагностика двигателей вертолетов;
- 8) системы имитационного моделирования полета (авиатренажеры) [17].

К сожалению, далеко не все эти вопросы нашли свое отражение в публикациях по применению нейрокompьютеров к задачам динамики полета вертолета. Можно отметить только определенное количество статей по темам автоматизации полета, в том числе и маловысотного, а также по применению нейрокompьютера для предотвращения выхода вертолета за заданные ограничения.

Нейрокompьютеры в системах управления вертолетов

Публикации по применению нейрокompьютеров в системах управления вертолетов (рис. 2) (для управления, измерения параметров полета и др.) появились намного позднее, чем в применении к самолетам (начиная с 1993г.). Системы управления — одна из самых перспективных, эффективных и наиболее развиваемых областей применения нейрокompьютеров. «Авиация, управление летательными аппаратами, является той прикладной областью, где нейрокompьютеры еще не сказали своего последнего слова» [1].

Хотя как объект управления самолет или вертолет несоизмеримо более сложны и менее доступны, чем робот-манипулятор, тем не менее, крупные авиастроительные фирмы, такие, как «Боинг», «Дуглас» и другие, ведут активные теоретические и практические исследования по внедрению нейрокompьютерных средств в бортовые системы управления летательных аппаратов [1].

В общем случае для конструирования систем управления на основе нейросетей требуется большое количество испытаний. В силу дороговизны летных испытаний их можно заменить моделированием вначале на упрощенной, а затем - на подробной нелинейной модели. Влияние ошибок при этом потом минимизируется с использованием адаптивного управления.

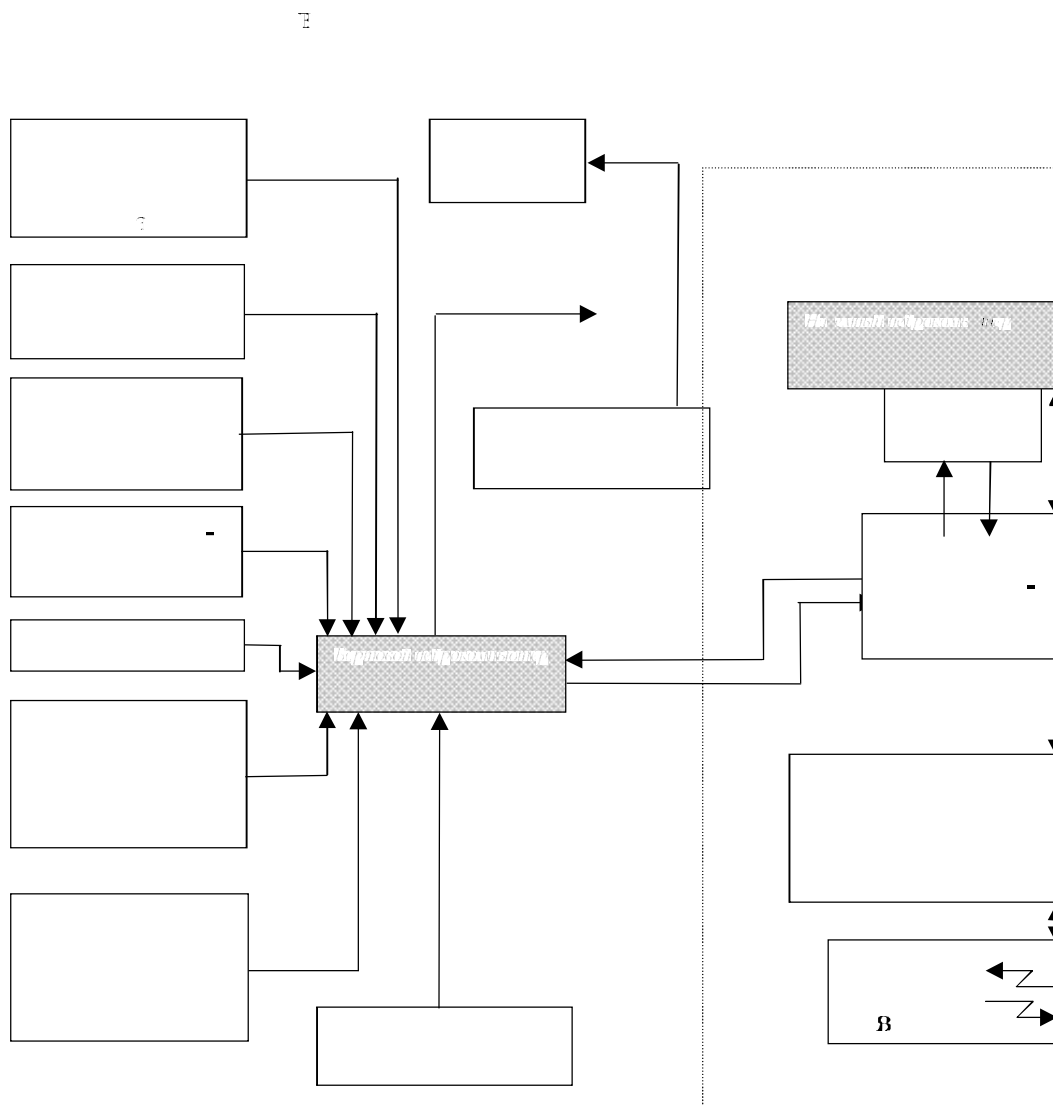


Рис. 2

Нейрокомпьютеры в системах предотвращения выхода за ограничения

Все повышающиеся требования к летным характеристикам и к безопасности маневренных вертолетов диктуют необходимость автоматического предотвращения выхода за ограничения, поскольку выявлено [11], что 40% нагрузки на летчика в штатном режиме связано с ограничениями. Система активного предотвращения попадания в срыв вертолета УН-1Н описана, например, в [11], где приводятся результаты по выполнению 7 типов полетного задания 70 летчиками. В той же работе было определено, что наибольшее улуч-

шение полетных характеристик было достигнуто при непосредственном вмешательстве нейросистемы в управление до того, как летчик выйдет за ограничения. Чтобы активно предупредить надвигающееся превышение, используется информация о скорости изменения параметров состояния и методы нечеткой логики.

Модели превышения ограничений на основе нечеткой логики были разработаны для следующих ограничений вертолета УН-1Н: диаграмма «Н-V»; максимальная воздушная скорость; располагаемый крутящий момент; ограничения углового положения; обороты двигателя и обороты несущего винта; ограничение максимальной перегрузки; боковая скорость и скорость полета назад.

Постоянное измерение превышения пределов обеспечивается применением алгоритмов нечеткой логики. Результаты испытаний на нелинейной модели динамики полета вертолета УН-1Н (рис. 3) показывают, что этот подход открывает большие возможности для применения на борту вертолета.

В [7] рассматривается «область полетных режимов современных винтокрылых летательных аппаратов, ограниченных комплексными ограничениями». Разработан метод, учитывающий разнообразие весов и параметров балансировки, а также ошибки моделирования. Система применяется для определения угла атаки или / и перегрузки, а также определения ограничений махового движения самолета вертикального взлета и посадки XV-15 в продольной плоскости.

Системы защиты от выхода за границы ограничений обеспечивают увеличение маневренности летательных аппаратов, улучшение характеристик управляемости и увеличение безопасности полета.

Нейрокомпьютеры в определении траекторий полета

При решении задачи оптимизации траекторий маловысотного полета можно с успехом использовать наработки по определению траектории передвижения наземного робота по пересеченной траектории. Только в случае наземного робота эта траектория проходит по рельефу местности, а для летательного аппарата траектория проходит на заданной высоте над рельефом.

В [16] рассмотрен полет на малой высоте с отслеживанием рельефа, касающийся летательных аппаратов вообще, цель которого, в частности, поддерживать минимально допустимую высоту полета над местностью и летать быстро. Решается проблема нелинейного программирования, которая минимизирует отклонения в узлах, с выполнением некоторых ограничений. При этом оптимальная скорость полета меняется по времени.

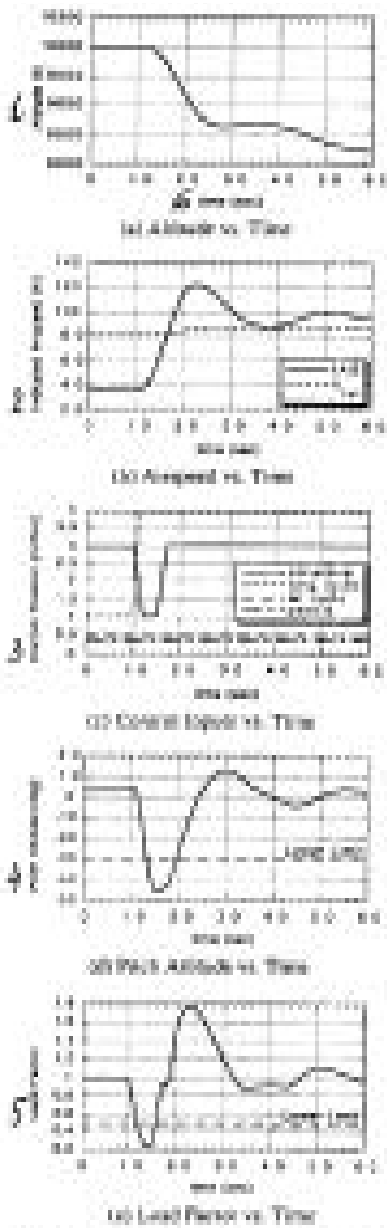


Figure 8. Simulation Results without Limit Protection.

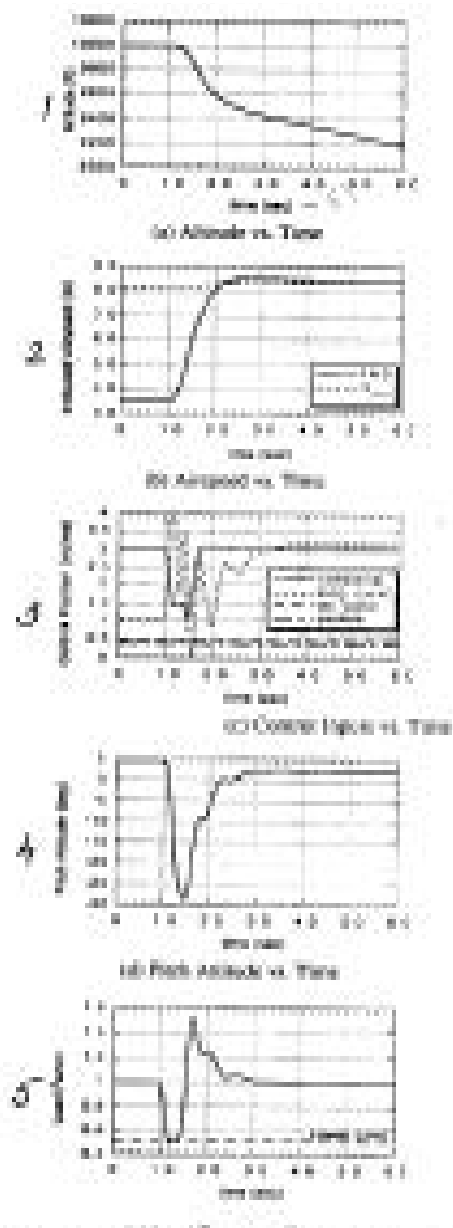


Figure 9. Simulation Results with Airspeed, Pitch Attitude, and Load Factor Limit Protection.

- 1-высота (футы)
- 2-индикаторная воздушная скорость (узлы)
- 3-положение органа управления (дюймы)

- 4-угол тангажа (град)
- 5-перегрузка
- 6-время (сек)

Результаты моделирования без защиты от выхода за ограничения

Результаты моделирования с защитой от выхода за ограничения воздушной скорости, угла тангажа и перегрузки.

Рис.3

Другие применения нейрокомпьютеров

Одному из нерешенных на сегодняшний день вопросу — определению малых воздушных скоростей и ветра — посвящена статья [8]. Одна нейросеть используется для определения воздушной скорости, а другая определяет направление ветра в одном из четырех 90-градусных секторов. Результаты показывают, что точность оценки малой воздушной скорости вертолета вне влияния земли примерно ± 6 узлов (достаточно хорошая точность), а при наличии влияния земли — ± 10 узлов. Чтобы определить направление ветра в полетах вперед, назад, влево, вправо, используется нейросеть количественной оценки линейного вектора.

Интересны результаты, полученные по применению нейрокомпьютеров для контроля вибраций и предотвращения превышения ими допустимых пределов.

В отдельных статьях демонстрируется применение нейронной сети для изучения нелинейных влияний модификаций, так чтобы соответствующий набор модификаций можно было бы оценивать без большого количества полетов. Одна из таких систем в настоящее время находится в процессе исследования на фирме Сикорского.

Направления работ по нейросетям на фирме КАМОВ

Область применения нейрокомпьютеров к вертолетам фирмы КАМОВ содержит все направления, перечисленные в разделе 1. Разрабатываемая в настоящее время система дистанционного управления открывает большие перспективы использования преимуществ нейросетей для решения различных задач в системе управления вертолетом, системе предотвращения выхода за ограничения и в других системах.

Важным штатным режимом вертолета, обеспечивающим в большой степени преимущества его применения, является режим висения и точность выдерживания висения над заданной точкой — одна из самых актуальных проблем. Большие возможности в этом отношении открывает нейросеть, способная запоминать участок местности, сравнивать его с текущей картиной и вычислять величину отклонения от заданной точки, необходимую системе управления для выдерживания режима.

Другое применение нейросети — система ограничительных сигналов, обеспечивающая предотвращение выхода за ограничения во всем диапазоне эксплуатационных режимов, включая выполнение сложных маневров. Формирование сигнала приближения к опасному по маховому движению лопастей режиму происходит в зависимости от параметров полета и в общем случае эта зависимость имеет существенно нелинейный характер. Использование ней-

росетей для реализации таких зависимостей обещает хорошие перспективы расширения полетных характеристик маневренных вертолетов.

Одна из практически нерешенных в настоящее время проблем для маневренного вертолета - определение малой воздушной скорости вертолета, особенно с учетом того, что основные преимущества вертолета - в возможности полета на малых и околонулевых скоростях. Применение нейросети открывает хорошие перспективы определения воздушной скорости полета и ее составляющих, а также измерения ветра и его направления.

Перспективным направлением применения нейрокомпьютеров является применение их для контроля вибраций и предотвращения превышения ими допустимых пределов. Применение нейрокомпьютеров позволит учитывать влияние различных факторов полета на уровень вибраций.

Некоторые аналогии решения задач методами теории оптимального управления и при помощи нейросетей

Интересные аналогии можно проследить между применением методов теории оптимального управления и применения нейросетей. В обоих случаях решаются задачи оптимизации с построением минимизируемого функционала, аналогично должны быть учтены существующие ограничения, которые осложняют оптимизацию и могут приводить к локальным минимумам и «овражным» ситуациям. Аналогия прослеживается и в подходе к поэтапному усложнению модели движения объекта в процессе решения задачи, в выборе стандартной задачи для иллюстрации работы методов - задачи о коммивояжере и др. Основное различие, по-видимому, состоит в распараллеливании вычислительного процесса, обеспечиваемого нейросетями, и в особенностях нейронных сетей. Однако, судя по публикациям, сложностей в настройке нейросетей к решению конкретной задачи достаточно много, особенно при решении задач летательных аппаратов. Поэтому как большинство новых перспективных методов использование нейросетей и нейроматематики на дает мгновенного решения всех проблем в системах управления вертолетов, а требует больших усилий по их освоению, моделированию их работы и внедрению на вертолет.

Заключение

Изученные к настоящему времени преимущества нейросетей открывают перспективы для решения многих сложных проблем современных маневренных вертолетов.

Отечественный опыт решения задач динамики полета вертолетов методами теории управления и зарубежные публикации позволяют надеяться, что применение нейрокомпьютеров существенно расширит возможности использования высоких маневренных характеристик современных вертолетов с обеспечением высокой степени безопасности полета.

Литература

1. Галушкин А.И., Логовский А.С. Нейроуправление: основные принципы и направления применения нейрокомпьютеров для решения задач управления динамическими объектами // Тезисы докладов на Международной конференции по проблемам управления. – Москва, 1999.
2. Колоколов С.Н., Коновалов А.П., Куратов В.А. Динамика управляемого движения вертолета. – М.: Машиностроение 1987.
3. Петросян Э.А. Маневренность соосного вертолета // Труды XIV конференции по проблемам вертолетостроения. – Москва, 1987.
4. Уоссекмен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Пер. с англ. – М.: Мир, 1992.
5. Calise A.J., Kim B.S., Leiter J., Prasad J.V.R. Helicopter Adaptive Flight Control Using Neural Networks / / Proceeding of the 33-rd Conference on Decision and Control, 1994.
6. Calise A.J., Prasad J.V.R., Corban J.E. Flight Evaluation of Adaptive Neural Network Flight Controller of an Uninhabited Helicopter // XXV-th European Rotorcraft Forum, Italy, 1999.
7. Horn Joe, Calice Anthony J., Prasad J.V.R. Flight Envelope Limit Detection and Avoidance for Helicopter // Proceeding of XXV-th European Rotorcraft Forum, Italy, 1999.
8. Kelly M. McCool, Haas David J., Schaefer Carl G. A. Neural Network Based Approach to Helicopter Angle Estimation. AIAA - 96-3481-CP, 1996.
9. Leitner Jesse, Prasad J.V.R. and Calse Anthony. Nonlinear Control of Rotorcraft Using Approximate Feedback Linearization and Online Neural Networks. AIAA-94-3693-CP, 1993.
10. Lu Ping and Pierson Bion L. Optimal Aircraft Terrain-Following Analysis and Trajectory Generation // Journal of Guidance, Control and Dynamics.– May-June 1995.– Vol.18, №3.
11. Mulgung Sandeep S., Zacharias Greg L. A. Hybrid Neural Network-Fuzzy Logic Limit Protection System for Helicopter // AIAA Guidance, Navigation and Control Conference. – 1996 (AIAA-96-3800).
12. Napolitano Marcello R. and Kincheloe Michael. On-Line Learning Neural-Network Controller for Autopilot System // Journal of Guidance, Control and Dynamics.– Nov-Dec 1995.– Vol.17, №5.
13. Omatu Sigeru, Khalid Marzuki and Yusof Rubiyah. Neuro-Control and its Application: Пер. с англ.
14. Petrosyan E. Aerodynamics Features of Coaxial Configuration Helicopter // Air Fleet.– 1999.– №8.– p. 20-25.
15. Taitel Howard J., Donai Kourosh, Gauthier David. Helicopter Track and Balance with Artificial Neural Nets // Journal of Dynamic System, Measurement and Control.–June 1995.– vol. 117/231.
16. Lu Ping and Pierson Bion L. Optimal Aircraft Terrain-Following Analysis and Trajectory Generation // Journal of Guidance, Control and Dynamics.– May-June 1995.– Vol.18, №3.
17. Галушкин А.И. Нейрокомпьютеры в разработке военной техники США.