

УДК 62.529

doi 10.54708/22259309\_2025\_23321

## ПРИМЕНЕНИЕ АССОЦИАТИВНОЙ ПАМЯТИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

П. В. Васильев<sup>1</sup>, О. В. Даринцев<sup>2</sup>, Р. А. Мунасыпов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 1pavel-vasilev-99@bk.ru, <sup>2</sup>oleg\_sam@mail.ru, <sup>3</sup>rust40@mail.ru

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНТ)

**Аннотация.** Повышение конкурентоспособности отечественной промышленности напрямую связано с развитием интеллектуальных систем управления. Для решения задач предложен новый метод и проведены исследования о возможности применения ассоциативной памяти в системах управления технологическим оборудованием. В работе анализируются преимущества ассоциативной памяти перед другими интеллектуальными технологиями, такими как экспертные системы, нейронные сети и нечеткая логика. Описываются области применения ассоциативной памяти, включая системы управления базами данных, обработку изображений и интеллектуальные системы управления. Особое внимание уделяется перспективному направлению – комбинированному использованию ассоциативной памяти и нечеткой логики, позволяющему значительно повысить скорость обработки информации и сформировать управляющие воздействия для достижения желаемого качества управления. В статье подчеркивается актуальность темы в контексте повышения конкурентоспособности российской промышленности и внедрения инновационных технологий.

**Ключевые слова:** интеллектуальные технологии; ассоциативная память; нейронные сети; нечеткая логика; системы управления технологическим оборудованием.

### ВВЕДЕНИЕ

Указ Президента Российской Федерации о научно-техническом развитии страны направлен на повышение конкурентоспособности отечественной промышленности [1] и акцентирует внимание на необходимости внедрения инновационных технологий, способных повысить эффективность и гибкость производственных процессов. Одним из ключевых направлений в этом контексте является совершенствование систем управления технологическим оборудованием (СУТО), которые играют решающую роль в автоматизации и оптимизации производственных процессов.

Совершенствование СУТО в первую очередь связано с увеличением спектра решаемых прикладных задач, объекты управления системы становятся конструктивно сложнее, а также возрастают неопределенность параметров среды их функционирования. Данные системы находят применение в различных областях – это работы для исследований космоса и океанов, промышленные роботы и автоматические устройства, предназначенные для выполнения сложных технологических операций в различных областях производства, специальное оборудование, применяемое в борьбе с терроризмом и для военных целей.

В данной работе раскрываются основные задачи совершенствования СУТО, методы, применяемые в их совершенствовании, предлагаются новые решения.

## **ЗАДАЧИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ**

Модернизация СУТО сталкивается со множеством вопросов, решение которых не является нетривиальной задачей, начиная от элементной базы [2] и заканчивая внедрением оборудования в гибкую производственную систему предприятия. Например, модернизация системы управления (СУ) станков с числовым программным управлением (ЧПУ) направлена на улучшение всех аспектов работы станка: производительность, точность, надежность, безопасность и гибкость.

Но отдельно стоят задачи модернизации СУ, связанные с:

- увеличением скорости обработки, а именно – оптимизация траекторий движения инструмента, увеличение скорости перемещения шпинделя, повышение мощности привода шпинделя [3];
- оптимизацией режима работы станка с учетом типа обрабатываемого материала, геометрии детали и других параметров [4];
- применение систем автоматической компенсации инструмента путем создания систем, автоматически определяющих износ инструмента и корректирующих его геометрию в реальном времени для обеспечения высокой точности обработки [5];
- улучшением систем измерения с применением более точных датчиков обратной связи, усовершенствование алгоритмов управления движением, компенсация ошибок и вибраций [6].

Одним из перспективных путей решения указанных задач модернизации СУ, показанных на примере, является переход к интеллектуальным системам управления (ИСУ). Они позволяют модернизировать существующее оборудование и создать принципиально новые машины и механизмы. Подобные системы могут обеспечить высокую производительность и функциональность.

## **ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

Сегодня наиболее распространеными являются четыре метода интеллектуальных технологий:

- экспертных систем (ЭС);
- нейросетевых структур (НС);
- ассоциативной памяти (АП);
- нечеткой логики (НЛ).

Каждая технология отличается своим преимуществом и областью применения. Экспертные системы удобны благодаря наглядности представления данных и возможности использования формализованных методов анализа. Их чаще используют в процессах принятия решений с несколькими критериями [7] и для управления стабильными системами [8]. Нейронные сети характеризуются высокой скоростью обработки информации за счет параллельной обработки информации [9]. Ассоциативная память – альтернативный метод для ускорения обработки информации, основана на восстановлении полных образов из отдельных фрагментов. Главным ее преимуществом является простота реализации, как программно, так и аппаратно. Время ответа в АП определяется временем доступа к ячейке памяти и превосходит показатели других интеллектуальных технологий [10]. Нечеткая логика работает с неточными формулировками и обобщенными категориями, применяя нечеткие множества для классификации данных [11]. Это особенно актуально для управления объектами с качественными характеристиками. НЛ позволяет значительно сократить количество входных и выходных данных, увеличивая скорость работы системы за счет уменьшения числа правил.

На практике при реализации ИСУ применяется комбинирование технологий. Это эффективный способ усиления преимуществ и расширения возможностей. Например, объединение НС с ЭС повышает скорость работы систем. Использование нечетких множеств улучшает адаптационные способности ЭС [12]. Нечеткие нейросети обеспечивают высокую скорость

работы, а также свойства нечетких систем [13–16]. Объединение НС, НЛ и АП создает автоматизированные системы управления с максимальной скоростью и адаптивностью [17, 18]. Совмещение возможностей ЭС, скорости НС и адаптивности нечетких систем позволяет существенно повысить характеристики автоматических систем управления. Часто АП реализуется на основе нейронных сетей. Нечеткие отношения в НЛ выполняют четкие, но нелинейные преобразования входных данных в выходные. Изменение входных данных приводит к перемещению рабочей точки по гиперповерхности, определяя выходной сигнал. Прикладной программный комплекс MATLAB fuzzy logic [22] позволяет выполнять нечеткие преобразования для построения трехмерной проекции сгенерированной гиперповерхности. Это позволяет реализовывать нечеткие преобразования на основе НС и АП.

С учетом вышесказанного можно сделать вывод, что создание СУ только на одном из методов не может дать необходимые требования данной системе управления. Решением данной проблемы может стать создание гибридных систем управления на основе интеллектуальных методов.

### ПРИМЕНЕНИЕ АССОЦИАТИВНОЙ ПАМЯТИ

Под АП понимается совокупность процессов и механизмов, определяющих способность носителя информации селективно фиксировать, сохранять, формировать и изменять во времени информационные объекты и ассоциации между ними, а также результаты внешних и внутренних воздействий и при определённых условиях полностью или частично их воспроизводить [5].

В 1956 г. появились первые идеи о построении запоминающего устройства с неадресным обращением типа каталога в связи с разработкой сверхпроводниковых элементов – криотронов. В 1960 г. Г. Г. Стецуря разработал логические и математические вопросы организации запоминающего устройства, в котором за счёт усложнения его структуры достигается возможность производить обращение к словам по содержанию некоторой их части [23]. Абстрактная логическая схема АП представлена рис. 1.



Рис. 1. Логическая схема АЗУ

Сегодня АП в первую очередь применяется в системах управления базами данных для быстрого извлечения данных на основе их содержимого, например, в компьютерах или смартфонах [24, 25]. Также активно ведутся исследования и для модернизации АП в данном направлении применения [26–28].

Применение АП в приложениях обработки изображений для поиска определённых особенностей или паттернов внутри изображения является одним из перспективных направлений. Это техническое решение как АП аппаратно поддерживает операции фильтрации, контрастирования, векторизации, поиска по маске и др. Реализация АП на реконфигурируемых программируемых логических интегральных схемах позволяет построить компактные быстродействующие устройства обработки изображений, как показано в работах [29, 30]. В работе [30] показана модификация АП – двунаправленная АП.

Одним из перспективных направлений применения АП является построение ИСУ на её основе [31–33]. В данном случае в качестве объекта управления может выступать многозвенная механическая (станки, роботы, обрабатывающие центры и т. п.). Результаты фундаментальных исследований в области проектирования и реализации СУ с АП приведены в работе [34], в частности:

- разработаны основные принципы синтеза и работы ИСУ;
- представлена классификация ИСУ с АП. Она разделяет системы на два типа: I рода и II рода рис. 2 и 3 соответственно, учитывая различия в уровнях неопределенности, позволяя четко продемонстрировать специфические черты архитектуры, принцип работы и области применения каждого типа систем;
- предложены два подхода синтеза ИСУ с АП.

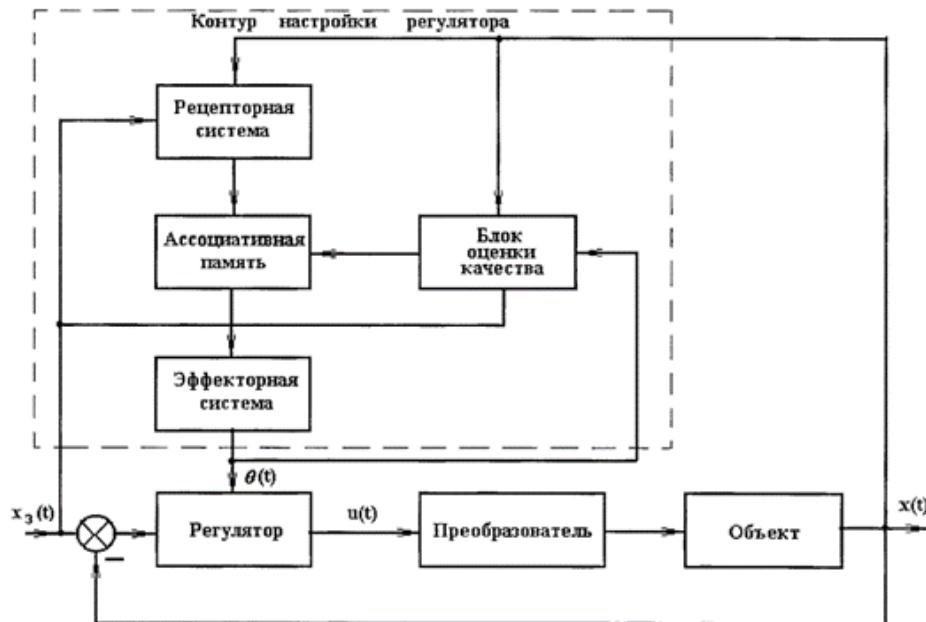


Рис. 2. Схема ИСУ с АП I рода [34]

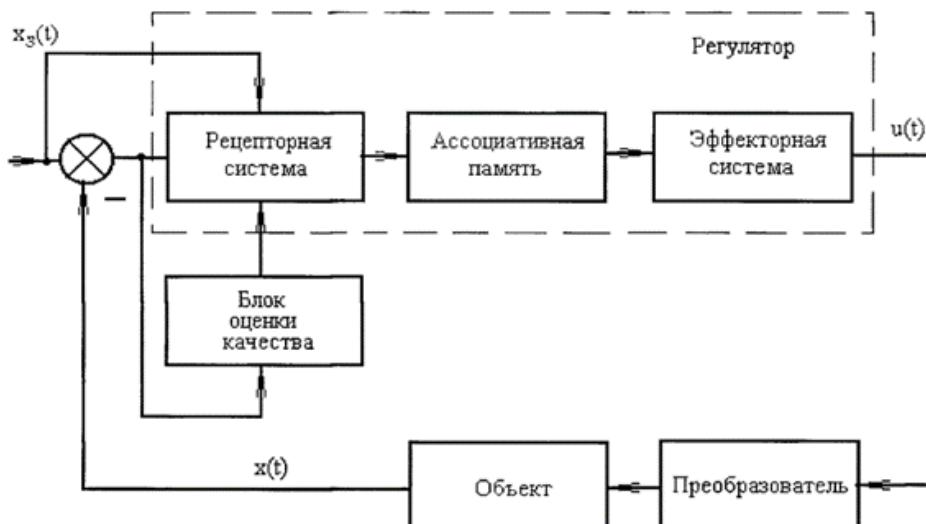


Рис. 3. Схема ИСУ с АП II го рода [34]

В зависимости от уровня неопределенности в системе управления применяются два метода адаптивного прогнозирования (АП). В первом методе, рис. 2, АП используется для ситуаций с предсказуемой неопределенностью. В этом случае АП работает непосредственно с регулятором, настраивая его работу и не влияя непосредственно на объект управления. Во втором методе, рис. 3, АП применяется для ситуаций с непредсказуемой неопределенностью. Здесь АП интегрирована в систему управления и заменяет традиционный регулятор, непосредственно влияя на объект управления. Оба метода позволяют создавать оптимальную работу систем управления благодаря адаптивному прогнозированию, используя для этого гибридные СУ на базе АП.

Актуальным направлением применения АП является сочетание технологий НЛ и АП, которое открывает новые возможности для оптимизации работы технологического оборудования. Гибридные ИСУ, объединяющие эти технологии, повышают скорость обработки информации и формируют более точные управляющие сигналы. В такой системе АП анализирует текущее состояние объекта управления (исходя из измерений и прогнозных данных) и заданное внешнее воздействие. На основании этого анализа АП выбирает подходящий режим управления: либо настраивает параметры регулятора, либо непосредственно формирует управляющие сигналы. При этом АП «запоминает» оптимальные управляющие воздействия для различных состояний объекта. В процессе обучения АП формируется набор данных о состоянии объекта и соответствующих им законов управления. Эти данные структурируются в виде «гиперповерхности» и сохраняются в ассоциативной памяти.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе была рассмотрена возможность применения ассоциативной памяти (АП) в системах управления технологическим оборудованием. Было показано, что АП с ее способностью быстрого восстановления целостных образов по отдельным элементам обладает существенными преимуществами перед другими интеллектуальными технологиями. Она обеспечивает высокую скорость обработки информации, простоту реализации и может быть эффективно интегрирована в системы управления базами данных, обработки изображений и интеллектуальных систем управления. Анализ научных источников подтверждает, что разработка интеллектуальной системы управления с использованием АП является реальной задачей, поскольку существуют эффективные решения [31–33].

В дальнейших работах необходимо:

- провести подробные теоретические исследования для дополнительного изучения существующих методов реализации интеллектуальных систем управления с АП;
- разработать алгоритмы для сигналов генерации и управления, для подтверждения или опровержения идей;
- провести моделирование в среде специального прикладного программного обеспечения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. Указ Президента РФ от 28 февраля 2024 г. № 145 // Собрание законодательства Российской Федерации. 2024. № 10. Ст. 1373.
2. Зеленский А. А. Концепция построения конкурентоспособных быстродействующих систем управления станков и промышленных роботов в условиях технологических ограничений электронной компонентной базы России / А. А. Зеленский // Известия ЮФУ. Технические науки. 2023. № 1(231). С. 123–133. DOI 10.18522/2311-3103-2023-1-123-133. EDN IJREAC.
3. Проблемы и перспективы решения технологических задач управления процессом резания, или как научить систему ЧПУ токарного станка определять надежные значения параметров обработки / А. Л. Плотников, Е. М. Фролов, А. А. Жданов, Ж. С. Тихонова // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2020. № 3(238). С. 45–48. DOI 10.35211/1990-5297-2020-3-238-45-48. EDN TAKMGS.
4. Малютин Г. Е. Совершенствование чистового фрезерования вогнутых поверхностей на станках с ЧПУ / Г. Е. Малютин // Механики XXI века. 2017. № 16. С. 155–161. EDN YTWCWZ.

5. **Масалимов К. А.** Применение двунаправленных сетей долгой краткосрочной памяти для определения износа режущего инструмента станков с числовым программным управлением в процессе эксплуатации / К. А. Масалимов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2021. Т. 9. № 4(35). DOI 10.26102/2310-6018/2021.35.4.014. EDN XBNTCY.
6. **Пась О. В.** Исследование возможностей повышения точности механической обработки вафельного фона методами программной коррекции / О. В. Пась, Н. А. Серков // Сибирский аэрокосмический журнал. 2022. Т. 23. № 2. С. 321–336. DOI 10.31772/2712-8970-2022-23-2-321-336. EDN DYVRZK.
7. **Мальцев С. А.** Управление мехатронными системами на основе алгоритмов экспертных логических систем / С. А. Мальцев, Д. Г. Левашкин // Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства: Труды IV международной научно-технической конференции (Резниковские чтения), Тольятти, 27–29 мая 2015 года / Редакционная коллегия: А. В. Гордеев, В. И. Малышев, Л. А. Резников, А. С. Селиванов. Т. 1. Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2015. С. 334–337. EDN TZDFZR.
8. **Сазыкин В. Г.** О использование экспертных систем для решения задач автоматизированного управления / В. Г. Сазыкин // Приднепровский научный вестник. 2023. Т. 12. № 5. С. 158–160. EDN JPMISQ.
9. **Галушкин А. И.** Нейронные сети: основы теории / А. И. Галушкин. М.: Горячая линия-Телеком, 2012. 496 с.: ил. ISBN 978-5-9912-0082-0.
10. **Огнев И. В., Борисов В. В., Сутула Н. А.** Ассоциативные память, среды, системы. М.: Горячая линия-Телеком, 2016. 420 с.: ил. ISBN 978-5-9912-0602-9.
11. Нечеткая логика и нейронные сети: учеб. пособие / Н. В. Замятин; Томский. гос. ун-т АСУ и радиоэл-ки. Томск: Изд-во. Томск. гос. ун-та АСУ и радиоэл-ки, 2014. 203 с. ISBN 978-5-9984-0055-1
12. **Малыхина М. П.** Нейросетевая экспертная система на основе прецедентов для решения проблем обслуживания абонентов сотовой сети/ М. П. Малыхина, Ю. В. Бегман // Известия вузов. Северо-кавказский регион. Технические науки. 2009. № 3. С. 6–9.
13. **Сайганов А. С.** Интеграция нечетких методов в стратегическое планирование и управление рисками нефтегазовых корпораций // Вопросы инновационной экономики. 2024. Т. 14. № 1. С. 345–359. doi: 10.18334/vinec.14.1.120319.
14. **Зимовец А. И.** Алгоритм распознавания космических объектов на основе нейронных нечетких сетей с использованием интеграции информации от различных средств наблюдения / А. И. Зимовец // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2020. № 4. С. 3–10. DOI 10.25586/RNU.V9187.20.04.P.003. EDN XQYGLW.
15. **Синюк В. Г.** Гибкие нейро-нечеткие системы вывода и программная реализация для решения задач аппроксимации / В. Г. Синюк, Е. Л. Бакшеева // Молодой ученый. 2014. № 8 (67). С. 108–112.
16. **Четырбок П. В.** Нечеткие нейронные сети в задачах классификации / П. В. Четырбок // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. 2021. Т. 1. С. 186–188. EDN MTZART.
17. **Ионов С. Д.** Проблемы построения развивающейся искусственной нейронной сети с ассоциативной памятью: дис. на соискание ученой степени кандидата наук / Ионов Сергей Дмитриевич, 2014. 180 с. EDN BMVCJF.
18. **Лабинский А. Ю.** Использование нечеткой логики и нейронных сетей в системах автоматического управления / А. Ю. Лабинский, С. А. Нефедьев, Е. Н. Бардулин // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2019. № 1. С. 44–50. EDN VZCPBM.
19. **Бухнин А. В.** Оптимизация баз знаний экспертных систем с применением нечетких нейронных сетей / А. В. Бухнин, Ю. С. Бажанов // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2004. № 9. С. 49–55. EDN POMXGT.
20. **Wan G., Wang L., Zou H. and Jiang S.** A New Model of Associative Memory Neural Network Based on An Improved Memristor. 2020. 39th Chinese Control Conference (CCC). Shenyang. China. 2020. Рр. 7589–7594. doi: 10.23919/CCC50068.2020.9188654.
21. **Дмитриенко В. Д.** Применение нейронной сети многослойной ассоциативной памяти для оптимального выбора оборудования технологического процесса / В. Д. Дмитриенко, И. П. Хавина, В. А. Бречко // Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт. Серия: Информатика и моделирование. 2015. № 32(1141). С. 51–59. EDN UFZTXR.
22. Fuzzy Logic Toolbox [Электронный ресурс] URL: <https://www.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html> (25.05.2024)
23. **Беркович С. Я., Kochin Ю. Я.** Ассоциативная память. М.: Знание, 1976. 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Математика, кибернетика»).
24. Тенденции развития архитектур ассоциативной памяти и ее применение в параллельной потоковой вычислительной системе / Д. Н. Змеев, Е. Н. Кузьмин, Н. Н. Левченко, А. С. Окунев // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). 2016. № 2. С. 114–119. EDN WQSIZF.
25. **Жмакин А. П.** Архитектура ЭВМ: 2-е изд., перераб. и доп.: Учебное пособие. СПб.: БХВПетербург, 2010. 352 с.: ил. + CD-ROM (Учебная литература для вузов) ISBN 978-5-9775-0550-5.

26. **An H., Zhou Z. and Yi Y.** Memristor-based 3D neuromorphic computing system and its application to associative memory learning. 2017. IEEE 17th International Conference on Nanotechnology (IEEE-NANO). Pittsburgh. PA. USA. 2017. Pp. 555–560, doi: 10.1109/NANO.2017.8117459.
27. **Imani M., Mercati P. and Rosing T.** ReMAM: Low energy Resistive Multi-stage Associative Memory for energy efficient computing. 2016. 17th International Symposium on Quality Electronic Design (ISQED). Santa Clara. CA. USA. 2016. Pp. 101–106, doi: 10.1109/ISQED.2016.7479183.
28. **Ghofrani A., Rahimi A., Lastras-Montaño M. A., Benini L., Gupta R. K. and Cheng K. T.** Associative Memristive Memory for Approximate Computing in GPUs // IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems. Vol. 6. No. 2. Pp. 222–234. June 2016. doi: 10.1109/JETCAS.2016.2538618.
29. **Сидорова Н. А.** Распознавание изображений в ассоциативной осцилляторной среде: специальность 05.13.05 Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления: дис. ... канд. технических наук / Сидорова Надежда Андreeвна. М., 2010. 188 с. EDN QEUSJR.
30. **Жээнбеков А. А.** Метод распознавания изображений на принципах двунаправленной ассоциативной памяти / А. А. Жээнбеков, А. А. Сарыбаева // Евразийский союз ученых. 2016. № 1-3(22). С. 148–151. EDN XDECIJ.
31. **Prakapovich R.** Hetero-Associative Memory Technology for Development of Intelligent Control Systems of Autonomous Mobile Robots / R. Prakapovich // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. 2018. No. 8. P. 297–301. EDN HOLQZF.
32. **Литвиненко А. М.** Интеллектуальная система управления с ассоциативной памятью для робота-артикулятора / А. М. Литвиненко, И. Ю. Галкин, А. А. Куртуков // Электротехнические комплексы и системы управления. 2014. № 2. С. 35–39. EDN SMKQIF.
33. **Прокопович Г. А.** Нейросетевая модель для реализации поисковых движений мобильного робота / Г. А. Прокопович // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. 2013. № 3. С. 483–488. EDN ZJAHQH.

**Романов М. П.** Интеллектуальные системы управления с ассоциативной памятью (Модели, алгоритмы и методы исследования): специальность 05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям): дис. ... д-ра технических наук / Романов Михаил Петрович. М., 1999. 386 с. EDN QDFXDJ.

## ОБ АВТОРАХ

**ВАСИЛЬЕВ Павел Валерьевич**, ассистент кафедры Автоматизации технологических процессов.  
**ДАРИНЦЕВ Олег Владимирович**, доктор технических наук, профессор кафедры Автоматизации технологических процессов.  
**МУНАСЫПОВ Рустэм Анварович**, доктор технических наук, профессор кафедры Автоматизации технологических процессов

## METADATA

**Title:** The use of associative memory in control systems

**Author:** P.V. Vasiliev<sup>1</sup>, O.V. Darintsev<sup>2</sup>, R.A. Munasypov<sup>3</sup>

**Affiliation:**

<sup>1,2,3</sup> Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

**Email:** <sup>1</sup>pavel-vasilev-99@bk.ru, <sup>2</sup>oleg\_sam@mail.ru, <sup>3</sup>rust40@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 2 (33), pp. 21-27, 2025. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** Increasing the competitiveness of the domestic industry is directly related to the development of intelligent control systems. To solve the problems, a new method has been proposed and studies have been conducted on the possibility of using associative memory in control systems of technological equipment. The paper analyzes the advantages of associative memory over other intelligent technologies such as expert systems, neural networks, and fuzzy logic. The fields of application of associative memory are described, including database management systems, image processing, and intelligent control systems. Special attention is paid to a promising area – the combined use of associative memory and fuzzy logic, which makes it possible to significantly increase the speed of information processing and form control actions to achieve the desired quality of management. The article highlights the relevance of the topic in the context of increasing the competitiveness of Russian industry and the introduction of innovative technologies.

**Key words:** Intelligent technologies, associative memory, neural networks, fuzzy logic, control systems of technological equipment.

**About authors:**

**VASILIEV Pavel Valerievich**, Assistant Professor at the Department of Automation of Technological Processes (UUST).

**DARINTSEV Oleg Vladimirovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automation of Technological Processes (UUST).

**MUNASYPOV Rustem Anvarovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automation of Technological Processes (UUST).