

Е.Г. Мысливец, И.А. Пучкова, А.А. Нечай, Д.А. Антонов

СИНТЕЗ МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО
МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ НАБЛЮДЕНИЯ
НА ОСНОВЕ ЛОГИКО-АЛГЕБРАИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Предлагается подход к построению модели автоматизированной информационной системы радиоэлектронного мониторинга объектов наблюдения с использованием технологии радикального моделирования для эффективного решения задачи распознавания объектов наблюдения. Методологической основой комплексного оценивания качества распознавания объекта наблюдения служит алгебраическая операция, связанная со свойствами несущих множеств.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, радиоэлектронный мониторинг, распознавание образов, логико-алгебраический подход, технология радикального моделирования.

E.G. Myslivets, I.A. Puchkova, A.A. Nechaj, D.A. Antonov

SYNTHESIS OF A MODEL OF AN AUTOMATED
INFORMATION SYSTEM FOR ELECTRONIC MONITORING
OF OBJECTS OF OBSERVATION BASED
ON THE LOGICAL-ALGEBRAIC APPROACH

An approach is proposed to build a model of an automated information system for electronic monitoring of objects of observation, using the technology of radical modeling, for an effective solution of the problem of recognition of objects of observation. The methodological basis for a comprehensive assessment of the quality of recognition of an object of observation is an algebraic operation associated with the properties of bearing sets.

Keywords: automated information system, electronic monitoring, pattern recognition, logical-algebraic approach, technology of radical modeling.

Введение

Свыше 50 лет назад под руководством выдающихся советских ученых, академика В.М. Глушкова и чл.-корр. АН СССР Н.П. Бусленко, была создана система распознавания иностранных искусственных спутников Земли. В результате эксплуатации системы было сформировано мнение, что только на путях системотехнического подхода к проблеме распознавания можно добиться успехов при решении задач разработки конкретных систем распознавания. Система распознавания должна строиться так, чтобы в условиях неизбежных ограничений результаты ее работы обеспечивали возможность системе управления реализовать потенциально достижимую эффективность. Достоверное распознавание не является достаточным условием для потенциально достижимой эффективности управления в информационной системе (ИС) распознавания, но является условием необходимым [6].

Структурная схема модели автоматизированной информационной системы радиоэлектронного мониторинга объектов наблюдения

Технологии спутникового РЭ-мониторинга объектов наблюдения широко применяются во многих странах в составе систем оперативного реагирования. Лица, принимающие решения (ЛПР), нуждаются в достоверной и оперативной информации [11] о возможных ситуациях или угрозах. Обычно в базе данных (БД) объектов наблюдения при РЭ-мониторинге имеется большой объем данных, который необходимо своевременно актуализировать [9]. Указанные обстоятельства показывают необходимость новых подходов при моделировании ИС-распознавания в условиях агрегирования и анализа больших данных [19].

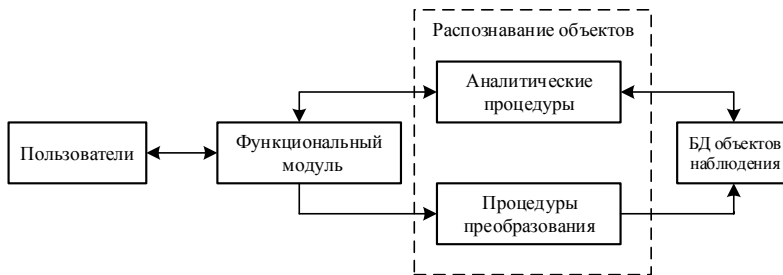
Математическое обеспечение систем распознавания не исчерпывается собственно алгоритмом построения решающих правил и решающих границ. В числе прочих к задачам систем распознавания относятся также методы [12] и алгоритмы управления процессом распознавания, методы и алгоритмы оценивания качества распознавания в процессе функционирования системы [2]. Одним из существенных показателей эффективности системы распознавания является вероятность правильного решения задач распознавания неизвестных объектов. Значение этого показателя тем выше, чем больший объем измерительной информации используется при распознавании этого объекта [7]. Однако в физически реализуемых системах распознавания число используемых признаков ограничено, и при распознавании конкретных объектов часто нецелесообразно использовать весь набор признаков рабочего словаря [16]. В подобной ситуации предельно возможное накопление измерительной информации неоправданно, и процесс определения признаков распознаваемого объекта рационально завершать в каждом конкретном случае на определенном шаге, организуя обратную связь в системе распознавания [20].

Задача распознавания в предлагаемой модели автоматизированной ИС РЭ-мониторинга решается в два этапа при условии обновления данных об объектах наблюдения в требуемые интервалы времени. На первом этапе происходит распознавание сигналов бортовых радиоэлектронных средств (РЭС) объекта наблюдения, на втором этапе – идентификация объекта по набору сигналов бортовых РЭС с учетом прочих информативных признаков [10]. Одновременно с процессом распознавания в ИС РЭ-мониторинга анализируются управляющие воздействия человека-оператора ИС. Предполагается, что модель ИС РЭ-мониторинга включает в себя базу данных (БД) и содержит необходимые для распознавания образов аналитические процедуры и процедуры преобразования элементов множества возможных состояний объекта наблюдения [1]. В БД находятся как структуры [15], отображающие свойства объектов наблюдения, так и структуры, отображающие формализованные решения лица, принимающего решения (ЛПР). Структурная схема автоматизированной ИС РЭ-мониторинга объектов наблюдения отображает основные информационные связи модели и представлена на рисунке.

Предлагается рассмотреть модель ИС РЭ-мониторинга, в которой функциональный модуль через обратную связь между решением человека на запрос дополнительных сведений и уведомлением человека аппаратурой о текущем уровне и качестве распознавания позволит эффективно решать задачу распознавания на основе интегрального показателя качества распознавания при заданных вычислительных ресурсах [14]. Все вышесказанное относится к автоматизированному процессу распознавания, когда с помощью определен-

Мысливец Е.Г. и др. Синтез модели автоматизированной информационной системы...

ного набора инструментов оператор в диалоговом режиме, сообразуясь со своим опытом, проводит классификацию объектов наблюдения, причем не только для отложенной обработки информации, но и в реальном времени, когда приемная аппаратура должна динамически подстраиваться к текущей обстановке [13]. Распознавание подразумевает наличие определенных признаков объекта и статистическую оценку их параметров в присутствии шумов. Известно, что способность подготовленного человека распознавать образы превосходит все имеющиеся алгоритмические модели и методы. Например, опытный оператор в ряде случаев может оценить тип модуляции и протокол передачи по характерному звучанию при непосредственном прослушивании сигнала с выхода демодуляторов аналоговых сигналов, что может существенно уменьшить число проверяемых вариантов. Главным при автоматизированном анализе информации является правильная визуализация нужных сведений и удобство управления аппаратурой [18].



Структурная схема модели автоматизированной ИС РЭ-мониторинга объектов наблюдения

Моделирование процесса распознавания на основе логико-алгебраического подхода

В теории распознавания образов определено, что задачи распознавания образов являются частными случаями индуктивного вывода в математической логике [6]. Индуктивный вывод объединяет такие задачи с более общими проблемами построения формальных моделей систем и процессов. С другой стороны, использование дедукции позволяет получать гарантированно истинный и непротиворечивый результат при логическом выводе. Поскольку в автоматизированных ИС ЛПР принимает управляющее решение на основе модели объекта наблюдения и вероятностных оценок результатов работы распознающих алгоритмов [18], уместно рассматривать поддержку решения, основываясь на индуктивном выводе, одновременно учитывая аспекты дедуктивного вывода.

Применение единого формализма к объектам системы принято в данной статье как парадигма автоматизированной ИС РЭ-мониторинга объектов наблюдения. Разрабатываемая модель ИС РЭ-мониторинга объектов наблюдения обладает свойствами функциональной системы [5]. Тогда составляющие ИС, а также составляющие проблемной области должны рассматриваться как математические объекты единой системы. В области математической информатики до недавнего времени отсутствовала формальная связь между логико-алгебраической концепцией математики (формализованно описывающей действия человека) и структурно-математической концепцией математики (отображающей алгоритмические процессы в программно-технических системах). Разработанная математическая операция дает возможность строить непротиворечивые дедуктивно-индуктивные выводы [3].

Предлагается новый подход к моделированию условия существования процесса распознавания в ИС, основанный на разработанном доктором технических наук В.Г. Бурловым системотехническим понятии «закон сохранения целостности объекта» (ЗСЦО), который проявляется во взаимной трансформации свойств объекта наблюдения и свойств его действия при фиксированном предназначении объекта наблюдения [3]. Аксиоматический аппарат определяет, что процесс распознавания объекта необходимо представлять на множестве элементов, распределенных в виртуальном пространстве и времени, которые имеют два типовых противоположных по смыслу состояния и могут быть подвергнуты процедуре фильтрации.

Идея профессора Бурлова В.Г. заключается в том, что выделяется объект, выделяется его действие, и они связываются между собой через предназначение объекта. Данная «связь по предназначению» позволяет получать условия существования процесса распознавания в ИС, что, в свою очередь, дает принципиальную возможность организовать управление процессом распознавания и применять численные методы формирования управления. Для разрешения возникающей проблемы размерности интеграл представлен в виде функции (отображение множества высказываний, характеризующее процесс деятельности ЛПР по управлению ИС на числовое множество). Указанные операции возможно конструктивно реализовать только на основе среды радикалов [8].

Введем обозначение R – множество всех возможных пространственно-временных состояний (ПВС) ИС в процессе распознавания объекта наблюдения.

За основу формирования интегрального показателя качества распознавания объекта наблюдения принят ЗСЦО [3]:

$$\int_Q \varphi(r) dr = \int_Q \Phi(u(r), v(r), r) dr = I(r), \quad (1)$$

где Q – множество требуемых в процессе распознавания объекта ПВС ИС; r – пространственно-временное состояние ИС в заданный момент времени, причем $r \in R$, $R \supset Q$; $u(r)$ – вектор управления информационной системой; $v(r)$ – вектор возможностей ИС (вычислительные ресурсы и средства); $\varphi(r) = \Phi(u(r), v(r), r)$ – функция, обозначает потенциал поля эффективности ИС; $I(r)$ – интегральный показатель качества распознавания объекта, может задаваться как в форме математической функции состояния процесса распознавания образа, так и через логические функции-предикаты.

Системно-образующее соотношение (1) объединяет логико-алгебраический (правая часть этого соотношения) и структурно-математический (левая часть соотношения) подходы на основе алгебраической операции, связанной со свойствами несущих множеств и включающей процедуру интегрирования. Использование в соотношении (1) логико-алгебраического и структурно-математического подходов дает возможность применить формально-аксиоматический метод для построения дедуктивно-индуктивных выводов и реализовать обратную связь в модели ИС [3]. Указанное обстоятельство позволяет по-новому формализовать процесс распознавания объекта наблюдения и оценивать качество этого процесса. Развитие процессного подхода на основе формального аксиоматического метода, методов декомпозиции, абстрагирования и агрегирования позволяет получать непротиворечивые выводы по управлению процессом распознавания в ИС. Установлено, что при автоматизации процесса распознавания существует возможность формализации

Мысливец Е.Г. и др. Синтез модели автоматизированной информационной системы...

системы вложенных иерархически построенных моделей различной физической природы на основе алгебраической операции, связанной со свойствами несущих множеств и применения теории радикалов [5, 8].

Для упорядочения знаний и фактов воздействия условий обстановки на процесс распознавания в ИС необходимо рассмотреть модель возможных нарушений и провести классификацию деструктивных воздействий (помехи разного рода). Модель предполагает, что существует электронный учет всех событий, происходящих в ИС.

Вероятность нахождения процесса распознавания объекта в обусловленном штатном состоянии в зависимости от времени проявления деструктивного воздействия и времени преодоления деструктивного воздействия с использованием вычислительных ресурсов рассчитывается как [3]

$$P_{\text{обус.}} = \frac{v_1 v_2}{\lambda(\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2}, \quad (2)$$

где λ – величина, обратная среднему времени проявления проблемы; v_1 – величина, обратная среднему времени идентификации проблемы; v_2 – величина, обратная среднему времени нейтрализации проблемы.

Соответственно, установлена аналитическая зависимость временных затрат для обобщенных характеристик обстановки (Δt_m), аналитической деятельности ($\Delta t_{ин}$) и нейтрализации проблемы (Δt_{nn}), возникшей в ИС:

$$\Delta t_m = \frac{1}{v_1}, \quad \Delta t_{ин} = \frac{1}{v_2}, \quad \Delta t_{nn} = \frac{1}{\lambda}.$$

В процессе выполнения распознавания объекта наблюдения возможны случаи, когда результат достижения промежуточной цели выполнения распознавания не соответствует предварительно наложенным регламентным ограничениям по качеству и времени выполнения распознавания; такая ситуация считается критической.

Разрабатываемая модель автоматизированной ИС РЭ-мониторинга объектов служит целям поддержки принятия решений ЛПР в условиях регламентированных показателей качества и времени распознавания при обработке больших объемов данных. Предлагается рассмотреть возможность реализации модели ИС РЭ-мониторинга на основе среды радикалов, поскольку только технология радикального моделирования предоставляет возможность полноценно реализовать условие существования процесса распознавания (1).

Модель ИС на основе ЗСЦО обладает научной новизной и успешно реализована доктором технических наук Лепешкиным О.М. в иной предметной области обеспечения безопасности критически важных систем на уровне метода, методологии, программного продукта и технологии управления [8]. В качестве необходимого условия реализации была использована уникальная отечественная технология проектирования сложных систем – радикальное моделирование («среда радикалов»), разработанная доктором физико-математических наук А.В. Чечкиным [4, 17]. Профессор А.В. Чечкин является основателем научного направления по проблемам интеллектуализации систем и математической информатики. Его «интеллектуальные» системы способны решать задачи внештатных ситуациях. Это свойство делает «интеллектуальную» систему информационно устойчивой (живучей) по сравнению с кибернетической системой (автоматной). По определению, «радикал» – это потенциально активированный элемент пространства и времени целенаправленной системы, имеющий два типа состояния – пассивное или активное. Сре-

да радикалов рассматривается как инструмент моделирования процессов функциональной системы и базируется на понятиях «уникум», «контейнер», «ультраконтейнер» и «активатор». Среда радикалов визуализирует логику работы программного продукта, учитывает логику его пользователя, позволяет по-новому агрегировать и анализировать большие данные в системах распознавания.

Заключение

В статье рассмотрена научная задача синтеза автоматизированной ИС радиоэлектронного мониторинга объектов наблюдения с целью организации эффективного процесса распознавания объектов наблюдения. Статья посвящена системотехническому подходу на основе уникальных отечественных разработок и, возможно, привлечет внимание специалистов по проектированию информационных систем.

Модель автоматизированной ИС РЭ-мониторинга объектов наблюдения требует дальнейших исследований и должна включать уровни методологии, методик, технологий. Предполагается, что методологический аспект направлен на формирование условий существования процесса распознавания, методический блок определяет методы организации процессов в ИС, технологический аспект обеспечивает комплексное оценивание качества распознавания объектов наблюдения. В качестве методологической основы математической модели комплексного оценивания качества распознавания объектов наблюдения предлагается алгебраическая операция, связанная со свойствами несущих множеств.

Литература

1. *Бережной И.В., Маковский В.Н.* Радиосигналы радиоэлектронных средств и их обработка: в 2 ч. Ч. 1. Радиоконтроль современных систем связи / под общ. ред. А.М. Рахматулина. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2015. 85 с.
2. *Борисов А.А., Краснов С.А., Нечай А.А.* Технология блокчейн и проблемы ее применения в различных информационных системах // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2018. Вып. 2. С. 63–67.
3. *Бурлов В.Г.* Логико-алгебраическая концепция построения модели системы и ее приложение для синтеза систем защиты // НТК: сб. трудов. СПб.: СПИИРАН, 1999. С. 18–25.
4. *Васенин В.А., Пирогов М.В., Чечкин А.В.* Радикальное моделирование и инженерия сложных программных систем // Программная инженерия. 2014. № 10. С. 3–9.
5. *Войцеховский С.В., Мысливец Е.Г., Пучкова И.А.* К вопросу о возможности интеллектуализации процессов в системах управления базами данных // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ, управление». 2018. Вып. 4. С. 76–80.
6. *Горелик А.П., Гуревич И.Б., Скрипкин В.А.* Современное состояние проблемы распознавания. Некоторые аспекты: в 2 ч. М.: Радиотехника и связь, 1985. Ч. 1. 382 с.; Ч. 2. 152 с.
7. *Гусев С.Н., Сахно И.В., Хуббиев Р.В.* Методика оценивания качества формирования виртуальных объектов на радиолокационных изображениях // Труды МАИ. 2018. № 104. С. 15–28.
8. *Лепешкин О.М., Копытов В.В.* Моделирование безопасности критических социотехнических систем в среде радикалов: монография. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2010. 304 с.
9. *Лохвицкий В.А., Калинин С.В., Нечай А.А.* Подход к построению системы автоматизированной интеграции информации в базу данных для ее своевременной актуализации // Мир современной науки. 2014. № 2 (24). С. 8–12.

Мысливец Е.Г. и др. Синтез модели автоматизированной информационной системы...

10. *Мухин А.И., Пучкова И.А., Петрова Л.В.* Способ мониторинга судов с помощью современных и перспективных спутников связи в условиях отсутствия излучений AIS-транспондеров // Радиолокационное исследование природных сред: труды ВКА имени А.Ф. Можайского. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2019. Вып. 670. С. 76–80.
11. *Нечай А.А.* Формирование безопасной информационной среды // Актуальные проблемы современности: наука и общество. 2019. № 4 (25). С. 43–44.
12. *Нечай А.А., Копьев А.И.* Метод управляемого распределения ресурсов между ядрами процессора // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2018. Вып. 2. С. 101–107.
13. *Нечай А.А., Котиков П.Е.* Методика комплексной защиты данных, передаваемых и хранящихся на различных носителях информации // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2015. Вып. 1. С. 92–95.
14. *Нечай А.А., Котиков П.Е.* Методика повышения надежности функционирования систем, организованных на перепрограммируемых элементах // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2016. Вып. 1-2. С. 87–89.
15. *Новиков А.Н., Нечай А.А., Малахов А.В.* Математическая модель обоснования вариантов реконфигурации распределенной автоматизированной контрольно-измерительной системы // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2016. Вып. 1-2. С. 56–59.
16. *Новиков А.Н., Нечай А.А., Малахов А.В.* О подходе к обоснованию рациональной номенклатуры эталонной базы измерительных комплексов на основе нечетких моделей // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2017. Вып. 1. С. 72–79.
17. *Пирогов М.В., Чечкин А.В.* Технология решения задач в нормализованной среде радикалов // Фундаментальная и прикладная математика. Центр новых информационных технологий МГУ. 2009. Т. 15, № 3. С. 205–223.
18. *Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А.* Радиомониторинг: задачи, методы, средства. 2-е изд. М.: Горячая линия – Телеком, 2010. 624 с.
19. *Шаймарданов А.М., Нечай А.А., Лепехин С.В.* Математические модели систем автоматического управления с широтно-импульсной модуляцией // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2019. Вып. 2. С. 27–39.
20. *Широбоков В.В., Нечай А.А.* Алгоритм планирования энергосберегающей параллельной обработки информации с учетом информационной важности и времени поступления задач // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2017. Вып. 1. С. 88–93.

Literatura

1. *Berezhnoj I.V., Makovskij V.N.* Radiosignaly radioelektronnyh sredstv i ih obrabotka: v 2 ch. Ch. 1. Radiokontrol' sovremennyh sistem svyazi / pod obshch. red. A.M. Rahmatulina. SPb.: VKA imeni A.F. Mozhajskogo, 2015. 85 s.
2. *Borisov A.A., Krasnov S.A., Nechaj A.A.* Tekhnologiya blokchejn i problemy ee primeneniya v razlichnyh informacionnyh sistemah // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2018. Vyp. 2. S. 63–67.
3. *Burlov V.G.* Logiko-algebraichesкая koncepciya postroeniya modeli sistemy i ee prilozhenie dlya sinteza sistem zashchity // NTK: sb. trudov. SPb.: SPIIRAN, 1999. S. 18–25.
4. *Vasenin V.A., Pirogov M.V., Chechkin A.V.* Radikal'noe modelirovanie i inzheneriya slozhnyh programmyh sistem // Programmnyaya inzheneriya. 2014. № 10. S. 3–9.

5. *Vojcekhovskij S.V., Myslivec E.G., Puchkova I.A.* K voprosu o vozmozhnosti intellektualizacii processov v sistemah upravleniya bazami dannyh // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz, upravlenie". 2018. Vyp. 4. S. 76–80.
6. *Gorelik A.P., Gurevich I.B., Skripkin V.A.* Sovremennoe sostoyanie problemy raspoznavaniya. Nekotorye aspekty: v 2 ch. M.: Radiotekhnika i svyaz', 1985. Ch. 1. 382 s.; Ch. 2. 152 s.
7. *Gusev S.N., Sahno I.V., Hubbiev R.V.* Metodika ocenivaniya kachestva formirovaniya virtual'nyh ob"ektov na radiolokacionnyh izobrazheniyah // Trudy MAI. 2018. № 104. S. 15–28.
8. *Lepeshkin O.M., Kopytov V.V.* Modelirovanie bezopasnosti kriticheskikh sociotekhnicheskikh sistem v srede radikalov: monografiya. Stavropol': Izd-vo SGU, 2010. 304 s.
9. *Lohvickij V.A., Kalinichenko S.V., Nechaj A.A.* Podhod k postroeniyu sistemy avtomatizirovannoj integracii informacii v bazu dannyh dlya ee svoevremennoj aktualizacii // Mir sovremennoj nauki. 2014. № 2 (24). S. 8–12.
10. *Muhin A.I., Puchkova I.A., Petrova L.V.* Sposob monitoringa sudov s pomoshch'yu sovremennyh i perspektivnyh sputnikov svyazi v usloviyah otsutstviya izluchenijskikh AIS-transponderov // Radiolokacionnoe issledovanie prirodnyh sred: trudy VKA imeni A.F. Mozhajskogo. SPb.: VKA imeni A.F. Mozhajskogo, 2019. Vyp. 670. S. 76–80.
11. *Nechaj A.A.* Formirovanie bezopasnoj informacionnoj sredy // Aktual'nye problemy sovremenности: nauka i obshchestvo. 2019. № 4 (25). S. 43–44.
12. *Nechaj A.A., Kop'ev A.I.* Metod upravlyаемого raspredeleniya resursov mezhdru yadrami processora // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2018. Vyp. 2. S. 101–107.
13. *Nechaj A.A., Kotikov P.E.* Metodika kompleksnoj zashchity dannyh, peredavaemyh i hranimyh na razlichnyh nositel'nyh informacii // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2015. Vyp. 1. S. 92–95.
14. *Nechaj A.A., Kotikov P.E.* Metodika povysheniya nadezhnosti funkcionirovaniya sistem, organizovannyh na pereprogrammiruemyh elementah // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2016. Vyp. 1-2. S. 87–89.
15. *Novikov A.N., Nechaj A.A., Malahov A.V.* Matematicheskaya model' obosnovaniya variantov rekonfiguracii raspredelennoj avtomatizirovannoj kontrol'no-izmeritel'noj sistemy // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2016. Vyp. 1-2. S. 56–59.
16. *Novikov A.N., Nechaj A.A., Malahov A.V.* O podhode k obosnovaniyu racional'noj nomenklatury etalonnogo bazy izmeritel'nyh kompleksov na osnove nechetkikh modelej // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2017. Vyp. 1. S. 72–79.
17. *Pirogov M.V., Chechkin A.V.* Tekhnologiya resheniya zadach v normalizovannoj srede radikalov // Fundamental'naya i prikladnaya matematika. Centr novyh informacionnyh tekhnologij MGU. 2009. T. 15, № 3. S. 205–223.
18. *Rembovskij A.M., Ashihmin A.V., Koz'min V.A.* Radiomonitoring: zadachi, metody, sredstva. 2-e izd. M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2010. 624 s.
19. *Shajmardanov A.M., Nechaj A.A., Lepekhin S.V.* Matematicheskie modeli sistem avtomaticheskogo upravleniya s shirotno-impul'snoj modulyaciej // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2019. Vyp. 2. S. 27–39.
20. *Shirobokov V.V., Nechaj A.A.* Algoritm planirovaniya energosberegayushchej parallel'noj obrabotki informacii s uchedom informacionnoj vazhnosti i vremeni postupleniya zadach // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2017. Vyp. 1. S. 88–93.