


На правах рукописи



ВОВЧЕНКО Александр Иванович

**ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ
ПОДВИЖНЫХ КОМПОНЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации
(в науке и технике)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Белгород – 2012

Работа выполнена на кафедре организации и технологии защиты информации АНО ВПО «Белгородский университет кооперации, экономики и права».

Научный руководитель доктор физико-математических наук, доцент
Ломазов Вадим Александрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент
Раков Владимир Иванович

кандидат технических наук, доцент
Маматов Евгений Михайлович

Ведущая организация Конструкторско-технологический институт
вычислительной техники Сибирского
отделения РАН (г. Новосибирск)

Защита состоится «30» января 2013 года в 16-00 на заседании диссертационного совета Д 212.015.10 при ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ») по адресу: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85, корпус 15, ауд. 3-8.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ») по адресу: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

Автореферат разослан «__» декабря 2012 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



С.П. Белов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Повышение требований к эффективности, надёжности и безопасности эксплуатации сложных технических систем (промышленных, транспортных, энергетических и др.) делает необходимым проведение исследований на всех этапах жизненного цикла этих систем. Одним из необходимых условий успешного управления техническими системами является их диагностика, то есть классификация состояний системы с целью принятия решения по режиму её дальнейшей эксплуатации или виду ремонта.

Оценку состояния механических технических систем принято производить с выделением их подвижных и неподвижных компонентов. Особая роль подвижных компонентов при анализе технических систем связана с тем, что именно эти детали механизмов, как правило, в наибольшей степени подвержены возникновению дефектов и неисправностей, что определяет **актуальность** темы исследования.

Анализируя научные исследования, посвященные диагностике технических систем, можно выделить три основных направления. В рамках первого направления, представленного работами Башта Т.М., Биргера И.А., Птичкова С.Н., Сухорукова В.В., Ключева В.В., Патона Б.Е., Фролова К.В. и др., основное внимание уделяется техническим вопросам измерения эксплуатационных параметров и определения допустимых интервалов их значений. Второе направление базируется на математическом моделировании процесса эксплуатации и тестовых испытаний компонентов технических систем (например, работы Баничука Н.В., Дергунова Н.П., Кравчука А.С., Ломазова В.А., Москвичева В.В., Немировского Ю.В. и др.). В настоящее время наиболее широкое распространение получило направление диагностики компонентов технических систем, основанное на применении подходов и методов системного анализа и теории принятия решений, представленное в работах таких российских и зарубежных ученых, как Горелик В.Ю., Журавлев Ю.И., Ларичев О.И., Ногин В.Д., Орлов А.И., Подиновский В.В., Саати Т. и др.

В рамках классификационного подхода при принятии решений в пространстве альтернатив большой размерности перспективным является применение биоинспирированных методов, в том числе методов иммунной сети (МИС), построенных на принципах функционирования биологической иммунной системы. Вычисление детекторов классов с помощью МИС позволяет учесть специфику для каждого из них (распределение значений в пространстве) и, тем самым, отнести испытуемый объект к тому или иному классу с более высокой точностью. Желательным решением задачи является небольшое число возможных вариантов, упорядоченных по степени соответствия, а окончательный выбор из них осуществляет лицо, принимающее решение (ЛПР).

Объектом исследования диссертационной работы являются модели и методы диагностики подвижных компонентов технических систем.

В качестве **предмета исследования** рассматриваются подвижные компоненты технических систем.

Цель и задачи исследования. Целью настоящей работы является совершенствование процедуры принятия решений по выбору схемы ремонта на

основе оценки состояний подвижных компонентов технических систем за счет применения биоинспирированных подходов.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решались следующие **основные задачи**:

- анализ проблематики диагностики механических технических систем;
- разработка и исследование информационных моделей подвижных компонентов для анализа состояния систем;
- разработка процедуры принятия решений по выбору схемы ремонтного обслуживания подвижных компонентов технических систем;
- проектирование и программная реализация автоматизированной системы оценки состояний и поддержки принятия решений по выбору режима эксплуатации подвижных компонентов технических систем.

Методы и средства исследований. При проведении диссертационного исследования использовались методы системного анализа, теории принятия решений, дискретной математики, теории искусственного интеллекта, а так же инструментальные средства экспертных технологий, методы проектирования и программирования информационных систем.

Обоснованность и достоверность полученных результатов обусловлена корректностью математических выкладок, согласованностью основных теоретических решений с их практической реализацией, а также результатами вычислительных экспериментов по тестированию созданных алгоритмов, которые подтверждают непротиворечивость основных теоретических результатов и выводов.

Научную новизну работы составляют:

- 1) информационное модельное описание подвижных компонентов сложных технических механических систем, отличающееся от существующих моделей учётом влияния неподвижных компонентов, а также стохастическим и нечётким описанием отдельных атрибутов;
- 2) принцип дискретного описания состояния систем на основе сочетания классификационного и экспертного подходов, отличающийся унификацией представления детерминированных, стохастических и нечётких атрибутов;
- 3) процедура разработки решающего правила при выборе схемы ремонтного обслуживания на основе взвешенного метрического расстояния между состояниями подвижных компонентов технических систем;
- 4) процедура принятия решений по выбору схемы ремонта подвижных компонентов на основе разработанной модификации метода клонального отбора и генетического алгоритма, позволяющая сократить пространство выбора.

Практическая значимость работы заключается в:

- 1) создании программного комплекса, предназначенного для решения задач диагностики технических систем методами теории иммунных систем;
- 2) внедрении разработанной автоматизированной системы исследования состояния подвижных компонентов технических систем на предприятии ОАО «Связьстрой-1» (г. Белгород), что позволило уменьшить частоту возникновения незапланированных ремонтов и добиться снижения затрат на проведение ремонтных работ;
- 3) использование разработанных моделей и методов в учебном процессе в

Белгородском университете кооперации, экономики и права и в Белгородской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Я. Горина.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на VIII Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии» (Воронеж, ВГУ, 2008), VI Международной научно-технической конференции «Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации» (Курск, КурскГТУ, 2008), I Международной научно-технической конференции «Компьютерные науки и технологии» (Белгород, БелГУ, 2009), XI Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии» (Воронеж, ВГУ, 2011), Международной научной конференции «Perspektywiczne opracowania są nauką i technikami» (Перемышль, Польша, 2011), III, IV, V Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» (Орел, ОрелГТУ, 2008, 2010, 2012).

Диссертационное исследование проводилось в соответствии с проектом «Информационно-вычислительные интеллектуальные системы управления роботизированными транспортными средствами для решения логистических задач промышленных и агропромышленных производств», выполняемым по Гранту РФФИ № «12-07-97526-р_центр_а».

По результатам исследований опубликовано 12 научных работ, в том числе 4 из них – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов кандидатских диссертаций, а так же получено Свидетельство об официальной государственной регистрации программы для ЭВМ.

Положения, выносимые на защиту:

1. Способ формирования дискретных информационных моделей подвижных компонентов технических систем, обладающих дискретными, стохастическими и нечеткими свойствами.

2. Процедура формирования решающего правила по выбору схемы ремонта подвижных компонентов технических систем.

3. Комплекс алгоритмов поддержки принятия решений по выбору схемы ремонта на основе кластеризации и распознавания образов.

4. Проектная и программная реализация автоматизированной системы исследований подвижных компонентов технических систем.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 116 страницах основного текста, включающего 43 рисунка, 3 таблицы, список литературных источников из 119 наименований. В приложение вынесены тексты программ и графические материалы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **ВВЕДЕНИИ** обоснована актуальность работы, сформулированы её цель и задачи, научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

ПЕРВАЯ ГЛАВА посвящена анализу основных подходов к диагностике состояний подвижных компонентов технических систем (ПК ТС). Сделан вывод о

целесообразности выделения в рамках ТС подвижных и неподвижных компонент. Уделено особое внимание подвижным компонентам, как наиболее подверженным возникновению дефектов. Рассмотрены основные этапы и проведён анализ общей схемы исследования ТС с целью принятия решения о состоянии ПК ТС на основе внешних факторов эксплуатации и технических характеристик объекта (рис. 1).

Первый этап этой схемы связан с анализом характеристик системы с учётом взаимодействия с внешней средой. Характеристики, значимые с точки зрения принятия решений о режиме эксплуатации и обслуживания объекта в ряде случаев не могут быть измерены непосредственно. Однако, наличие функциональных связей между характеристиками позволяет выразить значимые характеристики через определённый набор регистрируемых характеристик, которые служат основой для построения информационной модели объекта.

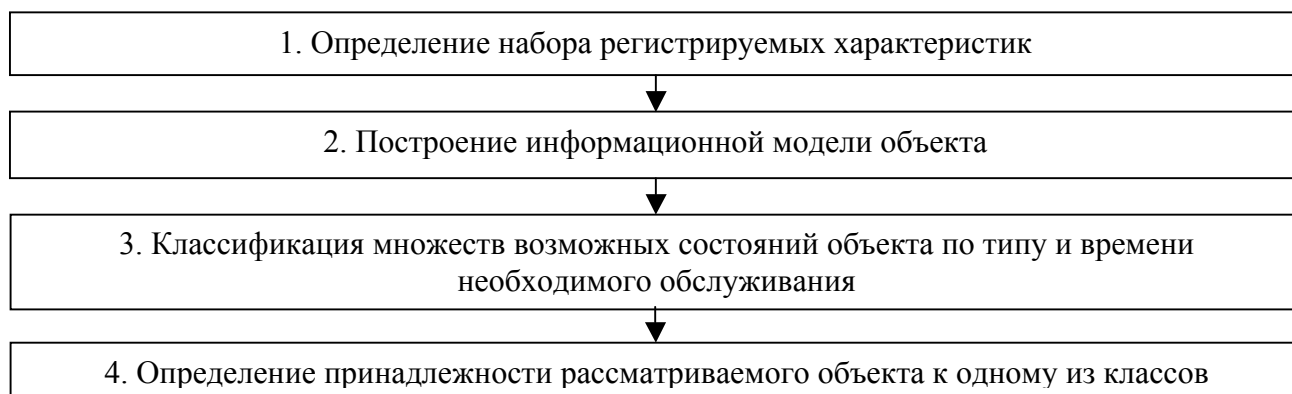


Рис. 1. Общая схема диагностики состояния технической системы

Переход от характеристик объекта к атрибутам модели обусловлен не только задачами исследования, но и особенностями используемых методов решения задач. Как правило, этот переход связан с преобразованием к дискретной форме представления. На этом этапе производится агрегирование отдельных показателей с целью уменьшения размерности модели.

Классификация (кластеризация) возможных состояний объекта связана с построением множества альтернатив для принятия решения по выбору графика обслуживания и ремонта объекта. Использование обучающих наборов данных позволяет избежать явного использования зависимостей между значимыми и регистрируемыми характеристиками объекта.

Последний этап общей схемы диагностики сводится к решению задачи распознавания образов, в рамках которой принадлежность состояния к определённому классу соответствует принимаемому решению.

В рамках настоящей работы предлагается расширение понятия диагностики технического объекта. Традиционная диагностика понимается как выявление неисправности объекта (отнесение к классу по типу неисправности). При этом выбор типов и сроков ремонта считается отдельной задачей. В настоящей работе целью диагностики полагается выбор режима обслуживания и ремонта на основе регистрируемых данных о состоянии объекта, что позволяет исключить промежуточный этап. Рассматриваемый подход приводит к необходимости решения задач кластеризации и распознавания образов большой размерности, что обуславливает необходимость разработки (модификации) процедур реализации второго, третьего и четвёртого этапов общей схемы диагностики.

ВТОРАЯ ГЛАВА посвящена разработке информационных моделей технических систем (ТС), выявлению критериев оценки подвижных компонентов ТС, а также преобразованию характеристик ТС к балльным оценкам.

В **первом параграфе** этой главы исследуются информационные модели, построенные на основе стандартных данных, представленных заводом изготовителем. Сделан вывод об их недостаточности при диагностике подвижных компонентов ТС и необходимости учёта внешних факторов эксплуатации. Дополнительные данные могут быть получены из статистических значений, а также с помощью проведения специальных испытаний

На основе анализа характеристик подвижных компонентов, необходимых для диагностики, предложено информационное модельное описание в виде совокупности кортежей, включающих (в виде атрибутов) группы характеристик, отражающих отдельные стороны (свойства) описываемых компонентов (рис. 2).

При построении информационной модели целесообразно также классифицировать характеристики объекта по типу их математического описания. В рамках рассматриваемой задачи используются три типа описаний:

- 1) тип D – детерминированные характеристики (например, размер, масса, пробег);
- 2) тип S – стохастические характеристики (например, появление выбоин на поверхности трения);
- 3) тип F – нечёткие характеристики (например, сложность профиля рельсовых направляющих).

Тем самым, в связи с большой размерностью модели и разнотипностью характеристик целесообразным является преобразование всех атрибутов модели к дискретному виду.

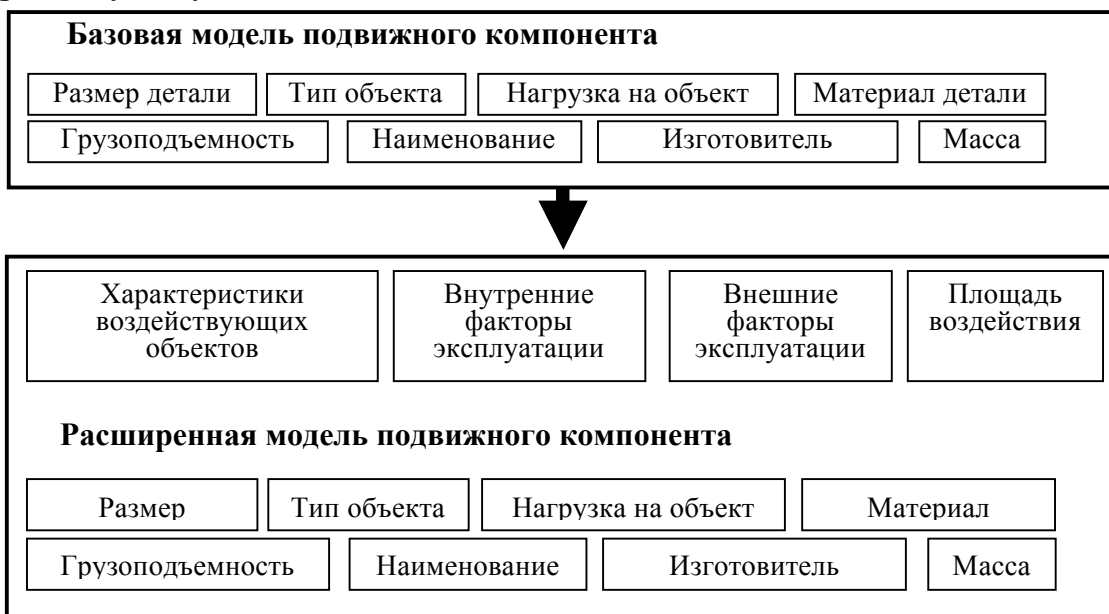


Рис. 2. Расширение информационной модели ПК ТС

Во **втором параграфе** рассмотрен вопрос преобразования значений разнотипных характеристик к дискретному виду.

Рассмотренные типы характеристик различаются по способу построения значений дискретных атрибутов информационной модели на основе значений

характеристик различных типов. Для детерминированных характеристик переход к дискретным (балльным) значениям осуществляется на основе проверки принадлежности значений оценочным интервалам.

$$D_{\text{балльное}} = j \text{ при } x \in I_j \text{ (рис. 3)}$$

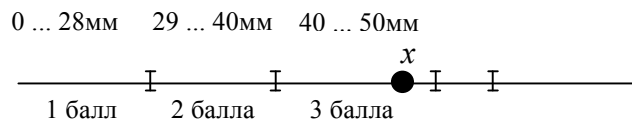


Рис. 3. Преобразование к балльным значениям на примере показателя «износ поверхности трения»

В частном случае, когда оценочные интервалы являются равными по длине, дискретное значение можно рассчитать по формуле:

$$D_{\text{балльное}} = \left[\frac{n * (d - d_{\min})}{(d_{\max} - d_{\min})} \right], \quad (1)$$

где n – количество баллов, определяемое экспертом; d – текущее значение характеристики; d_{\max} – максимальное значение характеристики и d_{\min} – минимальное значение. Здесь и в дальнейшем квадратными скобками обозначается целая часть числа.

Для стохастических характеристик в общем виде переход к дискретным значениям осуществляется как

$$S_{\text{балльное}} = j \text{ при } (a_1 M(x) + a_2 \sigma(x))^2 \in I_j \quad (2)$$

Для равномерной шкалы преобразования

$$S_{\text{балльное}} = \left[\alpha_1 \frac{M(x) - M(x_{\min})}{n(M(x_{\max}) - M(x_{\min}))} + \alpha_2 \frac{\sigma(x) - \sigma(x_{\min})}{n(\sigma(x_{\max}) - \sigma(x_{\min}))} \right], \quad (3)$$

где $M(x)$, $\sigma(x)$ – математическое ожидание и дисперсия текущего значения; $M(x_{\max})$, $\sigma(x_{\max})$ – максимального значения; $M(x_{\min})$, $\sigma(x_{\min})$ – минимального значения

Нечёткие характеристики могут быть представлены треугольными и трапециевидными нечёткими числами (рис. 4)

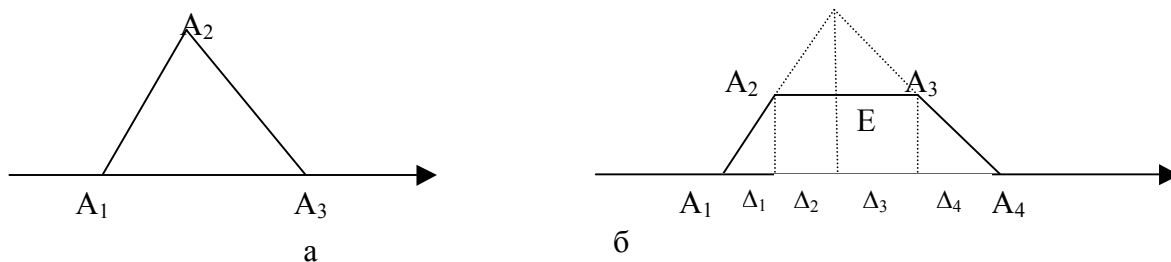


Рис. 4. Примеры представления нечётких чисел: а – треугольные числа, б – трапециевидные

Для треугольных чисел формула перехода к балльным оценкам будет иметь вид:

если $A_2 - A_1 = \Delta_1$ и $A_3 - A_1 = \Delta_2$, то

$$F_{\text{балльное}} = \alpha_1 \frac{n * (A_2 - A_{2_{\min}})}{(A_{2_{\max}} - A_{2_{\min}})} + \alpha_2 \frac{n * (\Delta_1 - \Delta_{1_{\min}})}{(\Delta_{1_{\max}} - \Delta_{1_{\min}})} + \alpha_3 \frac{n * (\Delta_2 - \Delta_{2_{\min}})}{(\Delta_{2_{\max}} - \Delta_{2_{\min}})}. \quad (4)$$

Для трапециевидных чисел формула преобразования будет иметь вид

$$F_{\text{балльное}} = \alpha_1 \frac{n * (E - E_{\min})}{(E_{\max} - E_{\min})} + \sum_{i=1}^4 \alpha_{i+1} \frac{n * (\Delta_i - \Delta_{i_{\min}})}{(\Delta_{i_{\max}} - \Delta_{i_{\min}})}, \quad (5)$$

где α_i – весовые коэффициенты.

Здесь и в дальнейшем весовые коэффициенты полагаются полученными на основе экспертного оценивания значимости факторов.

Вопросы применения экспертных оценок при исследовании подвижных компонентов технических систем рассмотрены в **третьем параграфе**. Использование шкалы Саати позволяет получить матрицу парных сравнений C_{ij} . Предположение о связи между значениями функции превосходства P_{ij} и весовыми коэффициентами α_{ij} (степенная калибровка)

$$P_{ij} = \frac{\alpha_i}{\alpha_j}, \alpha_1 + \alpha_1 + \dots + \alpha_j = 1, \alpha_j \geq 0 \quad (6)$$

даёт возможности для приближённого определения весовых коэффициентов по

формуле:

$$\alpha_i = \frac{\sqrt[k]{\prod_{j=1}^k C_{ij}}}{\sum_{m=1}^k \sqrt[k]{\prod_{j=1}^k C_{mj}}}, \quad (7)$$

Предложенный подход позволил построить дискретную кодировку расширенных информационных моделей подвижных компонент технических систем.

В **четвертом параграфе** рассматривается вопрос выбора классов диагностики на основе карты ремонта

Целью диагностики технических систем является выбор режима их эксплуатации и обслуживания. При этом, наибольшее значение имеет планирование типа и времени ремонтного обслуживания. Карту ремонта технического объекта можно представить как таблицу (рис. 5), где по столбцам расположены виды ремонта ($R_1, R_2... R_n$), а по строкам периоды времени ($T_1, T_2... T_m$), через которые их необходимо провести.

	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
T ₁	x	o		
T ₂	x	v	o	
T ₃		x	v	ov
T ₄				

Рис. 5. Пример карты ремонта

Таким образом, отдельный планируемый ремонт соответствует клетке (T_i, R_j) карты ремонта, а совокупность необходимых технических мероприятий (схема ремонтного обслуживания) соответствует некоторому заполнению клеток этой карты

$$RepairSch = \{(T_i, R_j) \mid (i,j) \in M\}$$

Каждой схеме ремонта ставится в соответствие класс возможных состояний компонентов системы *GroupState* из множества классов $\{GroupState_1, GroupState_2, \dots, GroupState_k\}$, где $0 \leq k \leq 2^m$. Тем самым, основной задачей исследователя, осуществляющего диагностику ТС, является определение принадлежности рассматриваемого состояния компонента системы одному из классов состояний.

Классификация (кластеризация) схем ремонта производится на основе мер близости (сходства), учитывающих степень важности отдельных характеристик с помощью определяемых экспертами весовых коэффициентов.

В пятом параграфе проведены основные результаты и выводы второй главы.

ТРЕТЬЯ ГЛАВА посвящена разработке процедуры классификации групп состояний ТС и распознаванию образов состояний на основе генетических алгоритмов. Общая схема процедуры диагностики состояния ТС имеет вид (рис.6).

Первый параграф посвящён анализу и выбору методов классификации возможных состояний ПК ТС. При этом рассмотрена модификация метода клонального отбора.

Применение искусственных иммунных систем обусловлено большим набором рассматриваемых характеристик и возможных схем ремонта. Вычисление детекторов классов с помощью данного метода позволяет учесть специфику для каждого из них и, тем самым, отнести испытуемый объект к тому или иному классу с более высокой точностью.

Блок-схема алгоритма клональной селекции представлена на рис. 7, где *L* – обучающая последовательность; *A* – популяция антител (детекторов); *g* – количество поколений; *S* – размер популяции клонов; β – коэффициент клонирования успешных детекторов; *k* – достаточная степень подобия популяции антител; *M()* – функция преобразования детекторов для выполнения мутации; *affD()* – функция вычисления аффинности детектора популяции детекторов текущего класса; *affL()* – функция вычисления аффинности детектора обучающей последовательности (способность угадывать свой класс).

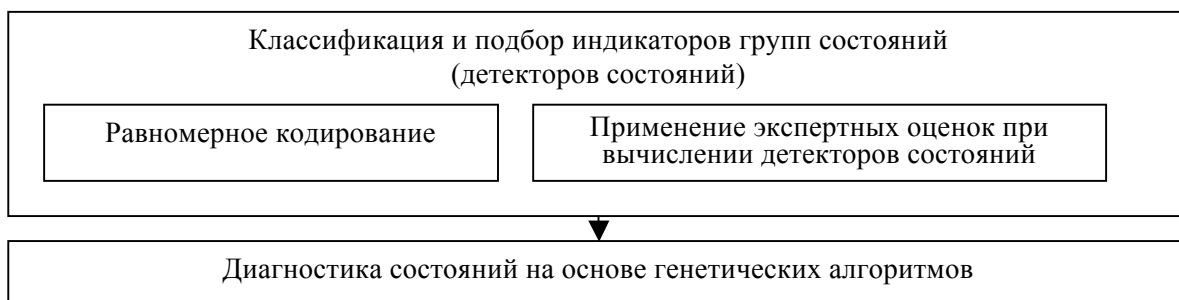


Рис. 6. Общая схема классификации и диагностики состояний ТС

На первом этапе происходит инициализация основных параметров алгоритма и функций преобразований детекторов классов.

Начальная популяция антител формируется случайной выборкой из обучающей последовательности в п.2. Функция вычисления степени подобия (аффинности) антител $affD(A_i)$ в п.3 вычисляется сумма расстояний Хэмминга с каждым антителом популяции:

$$affD(A_i) = \sum_{j=1}^a \sum_{b=1}^m |A_{ib} - A_{jb}|, \quad (8)$$

где a – количество антител в популяции, m – количество бит в каждом детекторе.

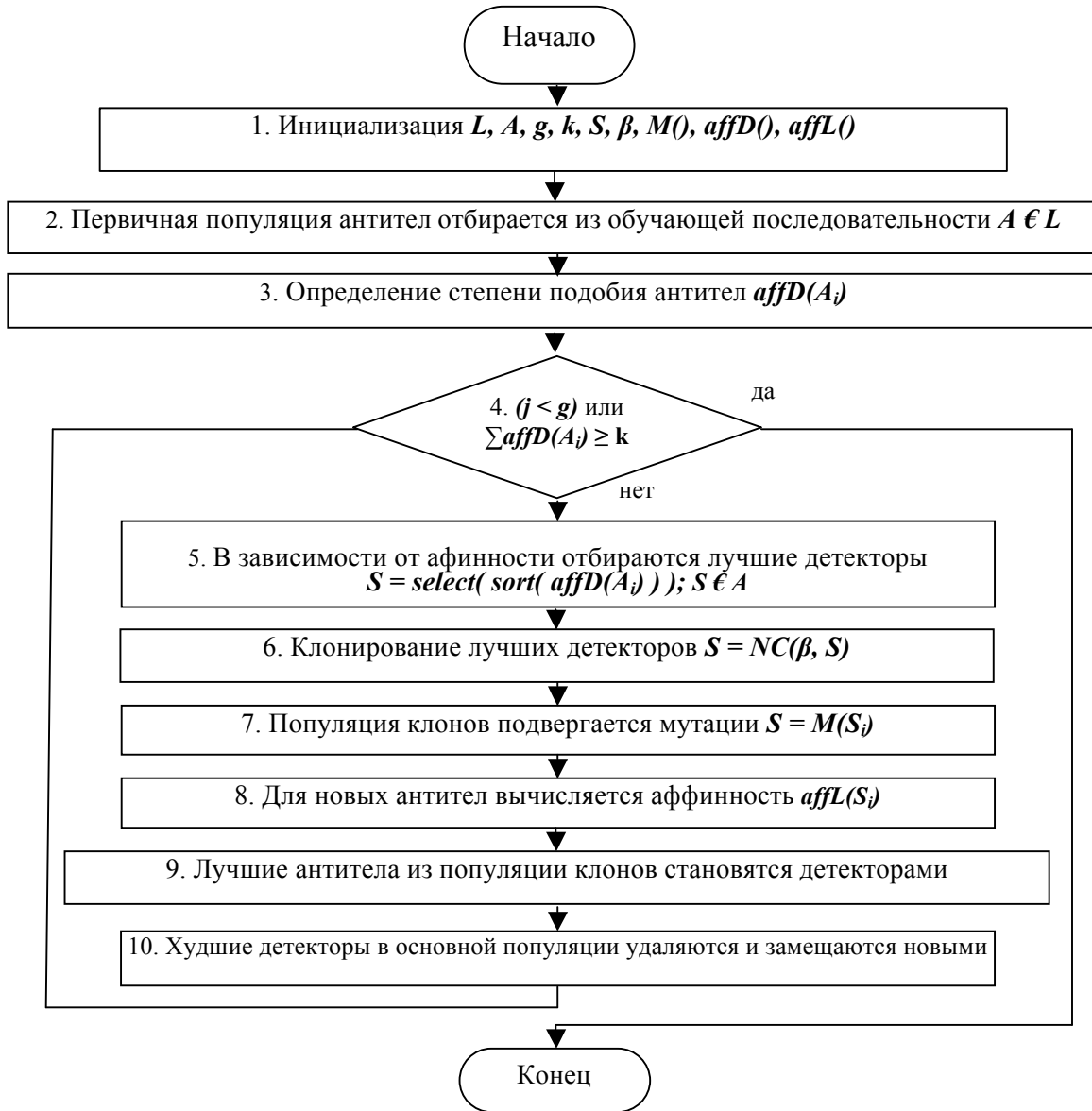


Рис. 7. Блок-схема алгоритма клональной селекции

Далее, в п.4 проверяется условие остановки алгоритма, которым является либо выполнение определённого количества поколений, либо достижение текущей популяцией антител необходимой степени подобия. В п.5 осуществляется отбор антител с лучшим показателем аффинности в популяцию S . Согласно аффинности каждого антитела осуществляется клонирование детекторов внутри популяции S в п.6. Количество клонов для каждого детектора определяется как $C_{Ai} = [affD(A_i) * \beta]$, где β – коэффициент клонирования, накладывающий ограничение на размер популяции клонов. На следующем шаге осуществляется гипермутация клонов, то есть каждый атрибут антитела подвергается преобразованию.

$M(S_j) = \langle M(D_1), M(D_2), \dots, M(D_j) \rangle$, где j – количество атрибутов модели.

$$M(D_{ij}) = D_{ij} + \frac{(D_{j\max} - D_{j\min})}{\alpha_j}, \quad \text{где } \alpha_j - \text{ шкала преобразования,}$$

устанавливаемая ЛПР для каждого атрибута.

В п.8 вычисляется степень подобия новой популяции к обучающей последовательности

$$\text{affL}(S_i) = \sum_{j=1}^p \sum_{b=1}^m |S_{ib} - L_{jb}|, \quad \text{где } p - \text{ длина обучающей последовательности } L.$$

В п. 9 осуществляется удаление худших антител из популяции преобразованных клонов, а лучшие антитела переносятся в основную популяцию детекторов. На завершающем п. 10 худшие детекторы из основной популяции замещаются случайными последовательностями из обучающей.

На рис. 8 показано итоговое расположение детекторов относительно обучающей последовательности в результате выполнения данного этапа исследования.

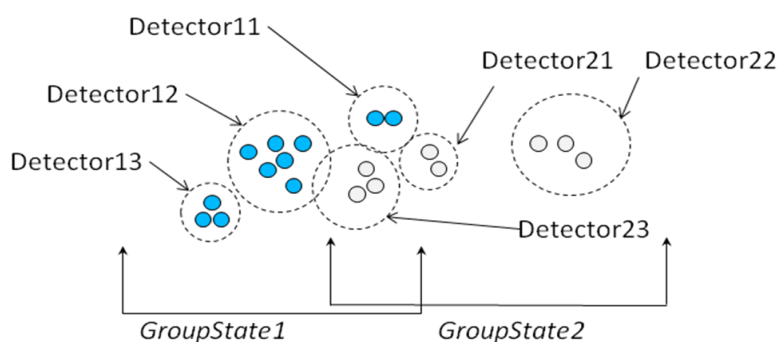


Рис. 8. Схема определения детекторов состояний

Таким образом, основными факторами процесса иммунной классификации являются наследственность (клонирование) и изменчивость (гипермутация), что приводит к оптимальному решению.

Во **втором параграфе** данной главы приведен анализ подходов и методов определения принадлежности рассматриваемого объекта к одному из классов, результатом которого является вывод о целесообразности применения в рамках решаемой задачи генетических алгоритмов в силу высокой размерности задачи, связанной с большим количеством классов.

Схема диагностики на основе генетических алгоритмов приведена на рис. 9.

В **третьем параграфе** предложена и обоснована общая методика поддержки принятия решений по выбору схемы ремонта (рис. 10).

В **четвертом параграфе** приведены основные результаты и выводы второй главы.

В связи с большим количеством классов диагностики, и, как следствие, детекторов состояний, для решения задачи диагностики целесообразно применение генетических алгоритмов. В начале алгоритма происходит отбор лучших детекторов из общей популяции, полученной на предыдущем этапе. Затем антитела сравниваются с диагностируемым образцом. Если необходимая степень подобия не была достигнута, то лучшие детекторы подвергаются мутации, а

худшие подвергаются замене из предыдущей популяции. Тем самым, не осуществляется полный перебор данных.



Рис. 9. Блок-схема алгоритма диагностики на основе генетических алгоритмов

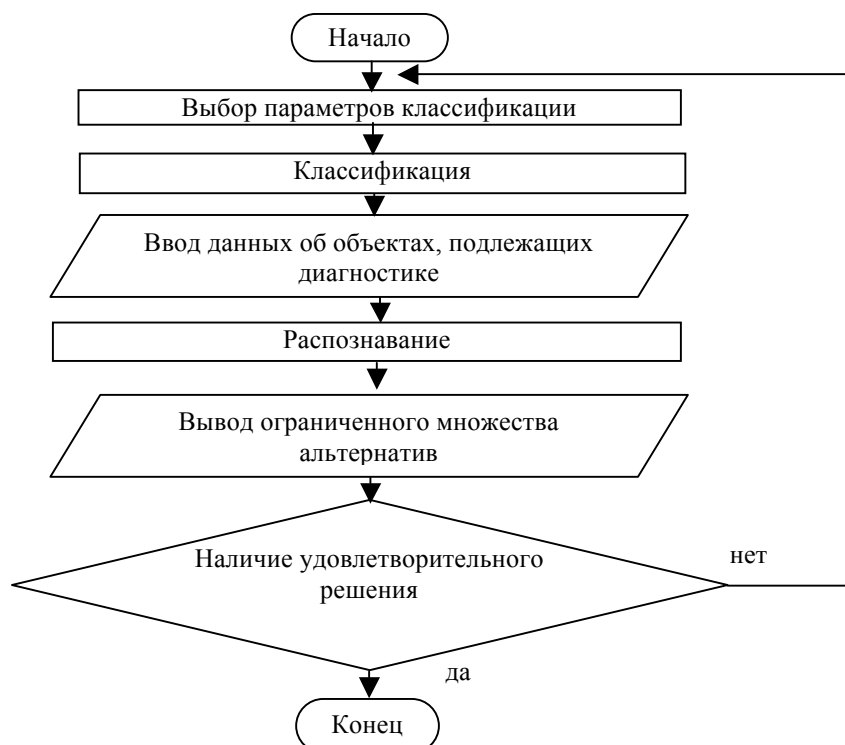


Рис. 10. Общая методика поддержки принятия решений по выбору схемы ремонта

В ЧЕТВЁРТОЙ ГЛАВЕ на основе разработанного в предыдущих главах подхода к исследованию подвижных компонент технических систем осуществлена программная реализация Автоматизированной системы исследований подвижных

компонент (АСИ ПК), приведены результаты вычислительных экспериментов на примере диагностики состояния подвижного состава железнодорожного транспорта.

В первом параграфе описан этап проектирования АСИ ПК, основанный на построении диаграмм потоков данных. Приведено описание структуры АСИ ПК, в рамках которой выделяются четыре подсистемы, каждая из которых выполняет определённую группу функций (рис. 11):

1) информационная подсистема содержит данные о подвижных компонентах, где в качестве основных используются:

- исходные показатели объекта (например, – тип, модификация, завод-изготовитель и т.д.),
- показатели степени износа объекта (например, количество и размер дефектов на поверхности трения, информация о взаимодействующих подвижных и неподвижных компонентах),
- показатели условий эксплуатации объекта (например, – климатические условия, степень интенсивности эксплуатации, общее техническое состояние направляющих, радиус кривизны поверхности трения),
- данные о предыдущих технических обслуживаниях объекта;

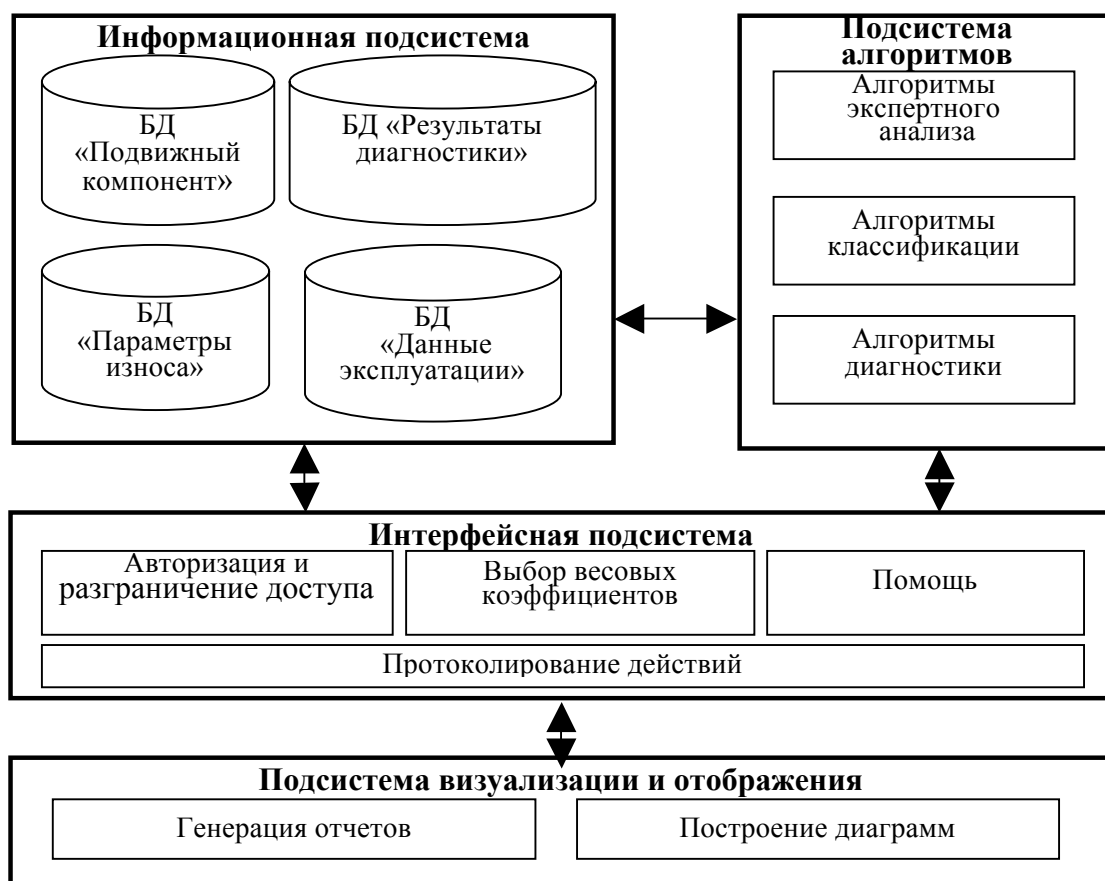


Рис. 11. Структурная схема АСИ «Автоматизированная система исследований подвижных компонент»

2) подсистема алгоритмов предназначена для решения задач классификации множеств возможных состояний технического объекта, применения экспертных технологий, определения принадлежности рассматриваемого объекта к одному из классов;

3) подсистема визуализации и отображения позволяет выводить графики, диаграммы, составлять отчёты;

4) интерфейсная подсистема обеспечивает взаимодействие АСИ ПК со специалистами, ответственными за своевременный ввод текущих данных, а также экспертами и исследователями.

База данных «Результаты диагностики» содержит историю предыдущих диагностик состояния подвижных компонент, а так же историю построения графиков обслуживания с помощью АСИ ПК. Это позволяет исследователю сравнивать диагностируемые и полученные по факту данные, тем самым выбирая подходящий график из предложенного множества решений.

Во **втором параграфе** приведены результаты работы АСИ ПК на примере железнодорожного подвижного состава (ПС).

Карта ремонта ПС (рис. 12) содержит три типа обслуживания и периоды времени эксплуатации подвижного состава, в течение которых необходимо осуществить ремонт.

В качестве данных использовались – перевозимый груз, масса ПС, длина, ширина, коэффициент скольжения, суточный пробег, текущая степень износа, толщина бандажа, толщина гребня, высота гребня, степень износа рельсового хозяйства и пр.

	Шлифовка	Обточка / наплавка	Замена
I квартал	X		
II квартал	X	X	
III квартал	X		
IV квартал			X

Рис. 12. Карта ремонта

Результаты вычислительных экспериментов подтверждают работоспособность АСИ ПК и повышение эффективности диагностики подвижных компонент за счет использования этой системы, что определяется:

– увеличением числа рассматриваемых характеристик за счёт учёта стохастических и нечётких показателей эксплуатации;

– сокращением временных затрат на принятие решений о состоянии подвижных компонент за счёт использования модифицированного алгоритма клонального отбора по сравнению с традиционными методами классификации, что можно видеть на графике, построенном по результатам вычислительных экспериментов (рис. 13).

АСИ ПК «Автоматизированная система исследований состояния подвижных компонент» можно рассматривать в качестве примера, иллюстрирующего эффективность предложенного в работе подхода к автоматизации диагностики подвижных компонент технических систем, базирующегося на нечетком информационном моделировании и эволюционных алгоритмах оценки состояний. Предложенный подход может быть обобщен на проблематику исследований технических систем других типов.

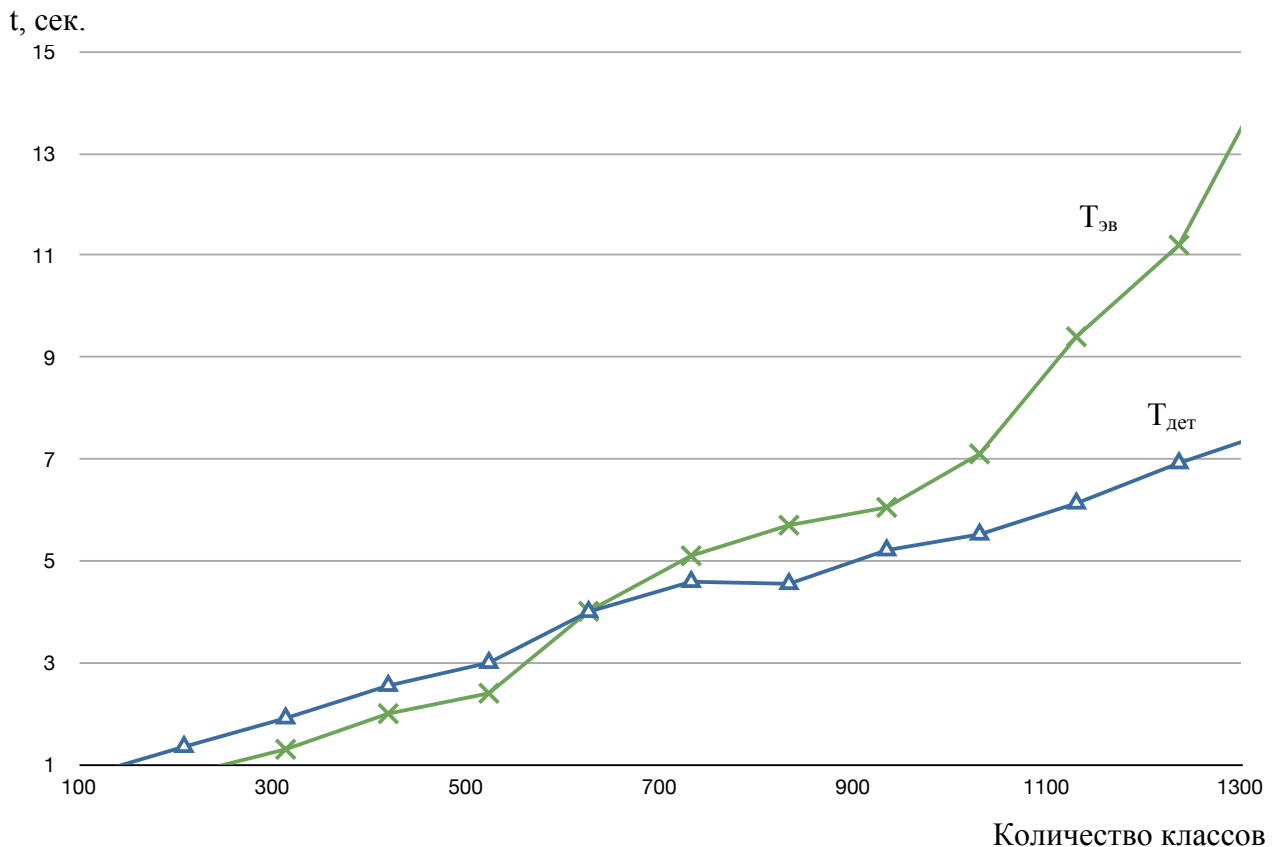


Рис. 13. Временные затраты расчетов по решению задачи диагностики подвижных компонент при использовании процедуры на основе биоинспирированных эволюционных методов $T_{эв}$ и на основе детерминированного алгоритма $T_{дет}$

Документы, подтверждающие программную реализацию системы, приведены в **приложении 1**. Тексты отдельных программных модулей и экранные формы интерфейса АСИ ПК вынесены в **приложение 2**.

В **ЗАКЛЮЧЕНИИ** сформулированы основные результаты работы. Приведены предложения по применению полученных результатов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. На основе проведенного анализа основных принципов исследования состояния подвижных компонентов технических систем при принятии решения о возможности дальнейшего использования или необходимости ремонтных работ:

- обоснована целесообразность применения классификационного подхода принятия решений на основе биоинспирированных моделей и методов;
- предложена схема диагностических исследований подвижных компонентов технических систем;
- сформулированы основные требования к автоматизированным информационным системам исследования состояния подвижных компонентов.

2. Предложены информационные модели подвижных компонентов технических систем, предназначенные для их оценки с учетом факторов воздействия внешней среды и условий эксплуатации.

3. Разработана процедура кластеризации состояний подвижных компонентов технических систем на основе взвешенных метрических расстояний между состояниями.

4. Разработана процедура принятия решений по выбору схемы эксплуатации и ремонта подвижных компонентов на основе биоинспирированных подходов.

5. Разработана структура и схема функционирования автоматизированной системы исследования подвижных компонент, в основе которых лежат предложенные в работе модели и алгоритмы. Программно реализован исследовательский прототип системы.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах из перечня ВАК

1. Вовченко, А.И. Применение информационных технологий при проведении исследований технического состояния железнодорожного подвижного состава [Текст] / А.И. Вовченко // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Информационные системы и технологии. – 2008. – № 1–3. – С. 33-36.

2. Вовченко, А.И. Автоматизация оценки и прогнозирования технического состояния железнодорожных колесных пар [Текст] / А.И. Вовченко, В.А. Ломазов // Информационные системы и технологии. – 2010. – №4. – С. 95-100.

3. Вовченко, А.И. Моделирование и анализ транспортных систем на основе эволюционных методов [Текст] / А.И. Вовченко, В.А. Ломазов // История. Политология. Экономика. Информатика. Научные ведомости БелГУ. – 2011. – №7 (102), вып.18/1. – С.118-122.

4. Вовченко, А.И. Разработка автоматизированной системы научных исследований железнодорожного подвижного состава. [Текст] / А.И. Вовченко // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. – 2011. – №5. – С.147-151.

Публикации в сборниках научных трудов и материалов конференций

5. Вовченко, А.И. Математическое и компьютерное моделирование в исследовании технического состояния железнодорожного подвижного состава [Текст] / А.И. Вовченко // Материалы VIII Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии». – Воронеж: ВГУ, 2008. – С.132-135.

6. Вовченко, А.И. Автоматизация исследований технического состояния железнодорожного подвижного состава [Текст] / А.И. Вовченко, В.А. Ломазов // Материалы VI Международной научно-технической конференции «Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации». – Ч.1. – Курск: КурскГТУ, 2008. – С. 40-44.

7. Вовченко, А.И. Применение искусственных иммунных систем для решения задач анализа состояния железнодорожного подвижного состава [Текст] / А.И. Вовченко // Материалы I Международной научно-технической конференции «Компьютерные науки и технологии». – Ч.1.–Белгород: БелГУ, 2009.–С.143-146.

8. Вовченко, А.И. Применение искусственных иммунных систем для исследования состояния железнодорожного подвижного состава [Текст] / А.И. Вовченко // Материалы XIV Международной научно-производственной

конференции «Проблемы сельскохозяйственного производства на современном этапе и пути их решения». – Белгород: БелГСХА, 2010.-С. 16.

9. Вовченко, А.И. Разработка автоматизированной системы исследования состояния железнодорожного подвижного состава / А.И. Вовченко, В.А. Ломазов [Текст] //Материалы IV Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве».– Орел: ОрелГТУ, 2010.– С.33-36.

10. Вовченко, А.И. Анализ состояния технических объектов на основе иммунных систем [Текст] / А.И. Вовченко В.А., Ломазов // Материалы XI Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методологии, технологии».– Т.1–Воронеж: ВГУ, 2011. –С. 146-150.

11. Vovchenko, A.I. Information modeling of complex systems [Text] / A.I. Vovchenko, V.A. Lomazov // Perspektywiczne opracowania są nauką i technikami.– Przemysl, Polska, 2011.– Pp.57-59.

12. Вовченко, А.И. Автоматизация выбора схемы ремонта подвижных деталей механических устройств на основе методов иммунной диагностики [Электронный ресурс] / А.И. Вовченко, В.А. Ломазов //Интернет-журнал «Информационные ресурсы, системы и технологии», 2012.–URL: <http://irsit.ru/files/article/106.pdf>.

Свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ

13. Вовченко А.И. Программное средство эволюционной классификации дискретных объектов «ЭволКласс» / А.И. Вовченко, В.А. Ломазов, Д.С. Трубавин // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ – № 2011614760 от 17 июня 2011 г.

