

## *ИСКУССТВЕННЫЕ ИММУННЫЕ СИСТЕМЫ: ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ И ОСОБЕННОСТИ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ*

**В.А. ЧАСТИКОВА, Д.А. КАРТАМЫШЕВ**

*Кубанский государственный технологический университет,  
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;  
электронная почта: smogee13@gmail.com*

Статья посвящена активно развивающейся области информатики и математического моделирования — искусственным иммунным системам. Рассмотрены основные принципы работы и механизмы иммунной системы, приведена история создания и развития основных теорий иммунных систем. Данное направление относится к идеям и методам искусственного интеллекта, но несколько отличается исходными положениями и подходами. В середине прошлого века были предложены первые алгоритмы работы искусственных иммунных систем, но только в последние годы данное направление получило основное развитие. Уникальные свойства иммунных систем позволяют работать в связке с другими алгоритмами: нейронные сети, эволюционные алгоритмы, эвристический анализ. Иммунные системы и гибридные алгоритмы находят свое применение в науке и промышленности. Подобные примеры приведены в работе, где иммунные системы используются для построения алгоритмов анализа данных, оптимизации и распознавания, систем компьютерной и интернет-безопасности, и других приложений.

Ключевые слова: иммунные системы, искусственный интеллект, иммунные сети, теория опасности, алгоритмы отбора.

Искусственная иммунная система осуществляет обработку внешних сигналов при помощи высокопараллельного процесса. Иммунная система превосходно реализует адаптивные процессы глобального уровня на основе локальных взаимодействий. Она представляет собой сложную систему, состоящую из нескольких функционально различных компонентов. Основная роль иммунной системы заключается в распознавании всех клеток организма и классификации их как «своих» или «чужих». Чужеродные клетки подвергаются дальнейшей классификации с целью стимуляции защитного механизма соответствующего типа. В процессе эволюции иммунная система обучается различать внешние антигены, например, бактерии, вирусы и собственные клетки или молекулы организма.

В организме имеется два основных типа лимфоцитов — Т- и В-лимфоциты [1]. Указанные два типа лимфоцитов играют в иммунном ответе разную роль; хотя и могут взаимодействовать, контролируя таким образом свои

функции. Например, Т-клетки могут усиливать или подавлять реакцию В-клеток на действие стимула.

Существует два основных варианта иммунного ответа: гуморальный, в котором участвуют только В-клетки и их продукты, и клеточный, в котором участвуют Т-клетки. Обоим вариантам иммунных реакций соответствуют сходные последовательности этапов защиты организма: активация, деление, дифференцировка, секреция, иммунная атака, супрессия и память, однако они осуществляются различными способами.

Иммунная система представляет большой интерес как система, способная эффективно обрабатывать значительные объемы данных. В частности, она выполняет большой объем сложных высокопараллельных распределенных вычислений [2]. В отношении возможных приложений для обработки информации перспективны следующие свойства иммунной системы [3] как распознавание, выделение особенностей путем обработки антигенов, разнообразие механизмов образования различных лимфоцитов, обучение, память и саморегуляция. Все свойства, имеющие отношение к обработке информации, создают ряд возможностей для различных вычислений.

**Модели, основанные на принципах функционирования иммунной системы.** Для объяснения иммунологических механизмов существуют разные теории и математические модели [4]. Также имеется растущее число компьютерных моделей [5,6] для имитации динамики различных компонентов иммунной системы и ее поведения в целом. Эти подходы включают модели, сформулированные в виде систем дифференциальных и стохастических уравнений, клеточно-автоматные модели, модели пространства конфигураций и другие. Ниже будут представлены модели различных иммунологических принципов и механизмы их работы.

**Клональная теория отбора.** В 1959 году Бурнет выдвинул теорию, объясняющую процесс распространения иммунных клеток в присутствии антигена. Согласно теории антиген выбирает (или побуждает) определенный лимфоцит. Учитывая большое разнообразие рецепторов лимфоцитов, определение рецепторами какого-либо конкретного антигена можно

рассматривать как случайное событие. Однако, при активации этот лимфоцит начинает размножаться. Данный процесс называется клонированием.

Алгоритмы клонального отбора, очень схожи с эволюционными алгоритмами, несмотря на то, что они имеют разную биологическую основу. Клональный алгоритм производит пул подходящих антител для решения той или иной задачи. В алгоритме каждое антитело и антиген представлены в виде множества атрибутов  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ . Также антитела и антигены могут быть представлены в виде двоичного кода или в виде любой  $n$ -мерной точки в метрическом пространстве, например, в Евклидовом пространстве.

Аффинность между антигенами и каждым антителом определяется на основании метрики, например, Евклидова дистанция. На основе метрики определяются специальные операторы для внесения наследственной изменчивости антителам. Вначале определяется оператор клонирования для производства клонов антител на основе величины их аффинности с антигенами: чем выше аффинность, тем большее число клонов антитела будет создано. Затем производится некоторое генетическое изменение антител оператором мутации для возможного улучшения соответствия антигенам.

Во время процесса созревания происходит добавление мутированного антитела в текущую популяцию для нового выбора лучших представителей. Для сохранения лучших антител в качестве клеток памяти о текущем антигене, необходимо вновь вычислить аффинность новых антител к антигену.

Несмотря на то, что уже представлены несколько вариаций алгоритмов клонального отбора, большинство из них имеют схожие характеристики и особенности с базовой моделью клонального отбора. Алгоритм клонального отбора может быть представлен в виде следующего псевдокода:

input:  $S$  = множество паттернов для распознавания,  $n$  количество худших элементов для удаления

output:  $M$  = множество детекторов памяти, способных классифицировать ранее не виденные паттерны

begin

Создание случайного множества антител  $A$

Forall паттерны во множестве  $S$  do

Определение аффинности с каждым антителом множества  $A$ . Создание подмножества клонов антител во множестве  $A$  с наибольшей аффинностью

Число клонов для антитела пропорционально величине их аффинности

Процесс мутации клонов во множестве  $A$  и размещение копий с наибольшей аффинностью антител из множества  $A$  во множестве памяти  $M$ . Удаление количества  $n$  антител из множества  $A$  с наименьшей аффинностью и новое случайное создание антител

end

end

**Теория иммунной сети.** Теория была разработана Нильсом К. Жерне в 1974 году. Автор предположил, что иммунная система действует как регулирующая сеть антител, которые могут распознавать друг друга даже в отсутствие антигенов. В- и Т-клетки образуют сложную схему взаимодействия клеток, функция которых либо стимулировать, либо подавлять иммунный ответ.

Взрослые В-лимфоциты несут на своей поверхности важные и особые рецепторы. Эти рецепторы стимулируются антигенами, и такая стимуляция вызывает разрастание особых антител. Антитело пытается распознать часть структуры на поверхности антигена, так называемый эпитоп. Часть антитела, которая используется для распознавания антигена, называется паратоп. Данный процесс образует уникальные для каждой В-клетки детерминанты антигена, которые называют идиотопами.

Формирование идиотипической сети происходит в результате следующих событий. Первоначально антиген распознается В-клетками, которые формируют антитела  $Ab_1$ . В свою очередь антитела  $Ab_1$  распознаются своими "анти-идиотопными" В-клетками, формируя новые антитела  $Ab_2$ . Таким же образом могут сформироваться антитела  $Ab_3$ , которые распознают  $Ab_2$  и так далее. В идиотипической сети нет внутренней разницы между антигеном и антителом, и любой узел сети может быть связан с любым другим узлом.

Существует несколько моделей иммунных сетей, которые обычно классифицируются как поколения.

*Первое поколение иммунных сетей.* Первое поколение модели иммунной сети пытается предсказать количество различных типов антител (клонов), присутствующих в крови. Увеличение или уменьшение числа клонов зависит от взаимодействия с идиотипически связанными клонами и антигенами. Таким образом увеличение количества каждого клона определяется силой иммунной реакции. С учетом этого аспекта теория иммунные сети первого поколения могут конкурировать с клональной теорией отбора.

Модели первого поколения сконцентрированы на взаимодействии между свободными антителами, не уделяя особого внимания внутреннему состоянию В-клеток, а также их взаимодействию с Т-клетками.

*Второе поколение иммунных сетей.* Второе поколение иммунных сетей (ВПИС) начинается с работ Варела и Коутиньов 1991 году. Данные сети относятся к специфическому классу сетей моделирующих автономное поведение иммунной системы. Эксперименты и теоретические исследования по естественной активации Т- и В-клеток, т.е. когда активация происходит без участия антигена, показали, что антитела и активированные В-клетки влияют на другие клетки, в то время как не активированные В- и Т-клетки не оказывают данного воздействия. Взаимодействие В-клеток в сети определяется их аффинностью к антителам и антигенам, что влечет за собой различные функциональные последствия. Данный процесс можно отобразить с помощью функции, график которой представлен в виде куполообразной кривой (рис.1).

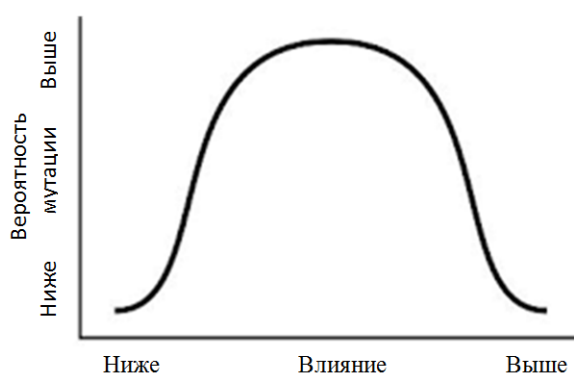


Рисунок 1- Пример куполообразной кривой.

Слишком низкий и слишком высокий уровень взаимодействия приводит к гибели клеток, в то время как промежуточные уровни взаимодействия

позволяет выжить клеткам в состоянии покоя, благодаря чему разрастание клеток будет осуществляться с минимальной секрецией антител.

Теория объединила два взгляда на иммунную систему: клональную теорию отбора и сетевые теории. Теория иммунных сетей ищет объяснение "заранее" выбранного репертуара иммунного ответа: как активируются естественные лимфоциты, принципы ауто толерантности и биологию аутореактивных клеток.

*Третье поколение иммунных сетей.* Стюарт и Карнейро в 1999 году предложили расширенную модель иммунной сети, которая стала известна как модель третьего поколения иммунных сетей (ТПИС).

ТПИС включает концепцию центральной иммунной системы (ЦИС) и периферической иммунной системы (ПИС). ЦИС представляет собой группу активации: аутореактивные и взаимосвязанные лимфоциты составляющие 10-15 процентов от общего числа лимфоцитов. ПИС включает остальные 85-90 процентов всех типов лимфоцитов, которые встречаются в лимфоидных органах.

ЦИС состоит из сети клонов проявляющих автономную активность и интегрирующих антигены в свою текущую регулярную динамику. ПИС включает клоны лимфоцитов находящихся в состоянии покоя, пока они специально не активируются антигеном в результате иммунного ответа. Следовательно, ПИС берет на себя реакцию иммунизации - введение антигенов в организм с целью индукции иммунного ответа. Также предполагается, что лимфоциты в состоянии покоя отключены от регулирующего влияния сети, тем самым обеспечиваются идеальные условия для свободного реагирования на внешние антигены.

Модель ТПИС включает взаимодействие В- и Т-клеток для объединения двух структурных и функциональных свойств ЦИС и ПИС в последовательный метод. Модель ТПИС предполагает, что любой клон лимфоцитов принадлежит либо ЦИС, либо ПИС в любой момент времени. Это указывает на отличия между структурой и функцией, и демонстрирует взаимодействие В- и Т-лимфоцитов. Новые антитела, произведенные вследствие воздействия антигенов, входят в сеть и изменяют ее организацию, что позволяет

формировать «системную память». Алгоритм работы иммунной сети может быть представлен в виде следующего псевдокода:

input:  $S$  = множество паттернов для распознавания,  $nt$  порог аффинности сети,  $ct$  порог пула клонов,  $h$  число клонов с наибольшей аффинностью,  $a$  количество новых антител для дополнения

output:  $N$  = множество детекторов способных классифицировать ранее не виданные паттерны

begin

Инициация создания случайного множества сети антител  $N$

repeat

forall паттерны во множестве  $S$  do

Определить аффинность с каждым антителом во множестве  $N$ . Создание подмножества клонов антител из  $N$  с наибольшей аффинностью. Количество клонов каждого антитела пропорционально его аффинности

Процесс мутации этих клонов во множестве  $A$  и размещение количества  $h$  клонов с наибольшей аффинностью в памяти множества  $C$ .

Удаление всех элементов во множестве  $C$  у которых аффинность с антигеном меньше заданного порога  $ct$

Определение аффинности среди всех антител во множестве  $C$  и устранение тех антител, у которых аффинность с друг другом меньше заданного порога  $ct$ . Включить оставшиеся клоны из множества  $C$  во множество  $N$

end

Определение аффинности между каждой парой антител в  $N$  и устранение всех антител где аффинность ниже заданного порога  $nt$ . Ввести случайное количество случайно созданных антител и поместить во множество  $N$

enduntil Критерий остановки end

**Алгоритм негативного отбора.** В 1994 году Форрест предложил вычислительную модель способную распознавать «своих» и «чужих» получившая название алгоритм негативного отбора (АНО). Целью АНО является покрытие чужеродного пространства соответствующим множеством детекторов. В работе алгоритма есть 2 этапа: «создание детекторов» и «распознавание чужеродного». На первом этапе создается множество

детекторов с применением процесса использующего в качестве входных данных множество «своих». Детекторы которые определяют любой из «своих» образцов, исключаются из кандидатов. Правило соответствия обычно смоделировано с использованием идей аффинности Т-клеток и антигенов.

На этапе обнаружения, сохраненные детекторы, применяются для проверки новых входящих примеров на соответствие «своим» и чужеродным. Если поступивший пример совпадает с детектором, то он идентифицируется как чужеродный. Алгоритм негативного отбора в псевдокоде представлен ниже:

input:  $S_{\text{self}}$  = множество известных «своих» элементов

output: D = множество сгенерированных детекторов

begin

repeat

Случайная генерация потенциальных детекторов и размещение их во множестве P

Определение аффинности для каждого члена множества P с каждым членом множества  $S_{\text{self}}$ . Если хотя бы один из элементов множества S отвечает на детектор во множестве P благодаря правилу распознавания, то данный детектор отбрасывается, иначе он добавляется во множество детекторов D.

until Критерий остановки end

**Теория опасности.** Долгое время в иммунологии существовала модель процесса генерации ответа, основанная на подходе «свой–чужой». Но есть ряд случаев когда эта модель оказывается неверной, в частности, при аутоиммунных заболеваниях.

Опровергая этот подход, была разработана теория опасности представленная Метцингером [7], предполагающая, что активация иммунной системы происходит в зависимости от того, существует опасность или нет. Теория опасности не отрицает существования разграничения на «свой–чужой», а скорее определяет, что существуют другие факторы, приводящие к инициированию иммунного ответа. Теория позволяет разграничивать различные эффекты воздействия в зависимости от текущих условий среды. Одну из возможностей применения такого эффекта можно использовать в системах адаптивного контроля, как это сделано в управлении роботом в работе



[8]. При интеллектуальной обработке данных адаптация теории опасности к существующим методам может показывать высокую эффективность, как в работе [9]. Алгоритм работы искусственной иммунной системы, основанный на теории опасности, следующий:

input:  $S$  = множество элементов данных, которые могут быть помечены как безопасный и опасный

output:  $D$  = множество элементов данных которые помечены как безопасные и опасные

begin

Создание начальной популяции дендритных клеток DC. Создание множества  $M$  для миграции DC.

forall элементы данных в  $S$  do

Создание множества  $P$  из случайной селекции DC

forall DC в  $P$  do

Добавление элементов данных в список DC

Обновление концентрации сигналов опасности, PAMP (патоген-ассоциированных молекулярных моделей) и безопасности

Обновление концентрации выходящих цитокинов. Перемещение из DC в  $M$  и создание новых в DC если есть дополнительная стимуляция концентрации молекул выше заданного порога

end

end

forall DC из  $M$  do

Установить DC как полувзрослые, если исходящая концентрация полувзрослых цитокинов выше чем взрослых цитокинов, иначе задать их как взрослых

end

forall элементов данных из  $S$  do

Рассчитать количество элементов данных представленных как взрослые DC и полувзрослых DC. Пометить элемент данных как безопасный, если представленных полувзрослых DC больше чем взрослых DC, иначе пометить как опасные. Добавить помеченные элементы данных во множество  $M$

end

end

### **Сравнение искусственных иммунных систем с алгоритмами искусственного интеллекта**

Генетические алгоритмы и искусственные нейронные сети имеют ряд общих идей с искусственными иммунными системами, например, популяция, генотип и распространение наиболее эффективных поколений. По данной причине будет уместно рассмотреть их сходства и различия.

Некоторые научные работы указывают как на сходства, так и на различия искусственных иммунных систем и нейронных сетей. Например, в работе [10] используется иммунная система для инициализации радиально-базисных функций и создания начального набора весов нейронной сети.

Следует отметить, что некоторые записи в таблице 1 имеют упрощения для более наглядного понимания и могут показаться спорными. Тем не менее, данное сравнение является важной частью демонстрации эффективности работы иммунных систем. Сравнение основано на генетическом алгоритме (ГА) в задаче оптимизации [12,13] и нейронной сети (НС) в задаче классификации [11].

Таблица 1 – Сравнение искусственной иммунной сети с алгоритмами искусственного интеллекта.

	<b>ГА (оптимизация)</b>	<b>НС (классификация)</b>	<b>Искусственные иммунные системы</b>
Компоненты	Хромосомы	Искусственные нейроны	Строка атрибутов
Расположение элементов	Динамическое	Предопределенное	Динамическое
Структура	Дискретные компоненты	Сетевые компоненты	Дискретные компоненты / Сетевые компоненты
Расположение памяти	Хромосомы в виде строк	Сила связей нейронов	Концентрация компонентов / Сетевые связи
Развитие	Эволюция	Обучение	Эволюция / обучение
Взаимодействие между компонентами	Скрещивание	Сетевые соединения	Распознавание / сетевые соединения

	<b>ГА (оптимизация)</b>	<b>НС (классификация)</b>	<b>Искусственные иммунные системы</b>
Взаимодействие с окружающей средой	Функции приспособленности	Внешний стимул	Распознавание / Целевая функция
Порог активности	Соперничество / Обмен	Активация нейронов	Аффинность клеток

### Применение искусственных иммунных систем в различных областях

Искусственные иммунные системы стали широко применяться во множестве сфер. В рамках одной статьи сложно описать все разнообразие работ по иммунным системам, поэтому ниже будут представлены наиболее актуальные и перспективные разработки в области компьютерной безопасности и робототехнике[1].

#### 1. Применение в компьютерной безопасности.

Первая работа по разработке систем компьютерной безопасности была создана в 1994 году Форрестом. В своей работе он первый применил принцип негативного отбора для обнаружения вирусов. Разработанная им система могла определить «своих» (легитимных пользователей, файлы и т.д.) от «чужих» (неавторизованные пользователи, вирусы, агенты). Иммунная система могла определить изменения в защищенных и программных файлах.

В 1994 году Кефарт предложил другой подход к обнаружению вирусов. Согласно его алгоритму, известные компьютерные вирусы определялись благодаря участку компьютерного кода (сигнатуры), а неизвестные вирусы определялись нестандартным поведением в системе. В 1999 году Ламонт разработал компьютерную иммунную систему, которая использовала иерархическую интеллектуальную агентную архитектуру для идентификации, атаки и удаления вирусов из компьютера или сети. Агент представлял из себя трехуровневую систему: локальный (наблюдение за состоянием компьютера, сетевой (наблюдение за трафиком) и глобальный (создание и адаптация противовирусных средств).

## 2. Применение в робототехнике и управлении

Первые работы по управлению и контролю роботами были представлены в 1996 году и принадлежат Исигуро, Ватанабе и Ли. Данные работы сфокусированы на разработке динамического децентрализованного механизма принятия консенсус-решений, базирующегося на искусственных иммунных системах. Они попытались создать механизм, с помощью которого один, самодостаточный автономный робот мог выполнять задачи по сбору различного количества мусора в постоянно изменяющейся среде. Авторы использовали признаки антител, которые формируют потенциальное поведение у робота; антигены соответствуют входам: существование мусора, стены, и удаленность от базы. Для выбора лучшего решения, робот анализирует обнаруженные антигены и соответствующий уровень антител, которыми он обладает.

Кришна Кумар и Нейдхофир в 1995 году предложили «иммунизированные вычислительные системы». Они успешно прошли испытания в качестве системы автономного управления самолетом.

Также были предприняты попытки исследовать эффективность применения иммунной сети для контроля больших популяций роботов, которые имеют некую форму самоорганизации поведения. Тома в 1999 году создал группу роботов, которая самоорганизуется для поиска еды без вышестоящего механизма контроля. Автор использовал В-клетки для представления робота, стимуляция рассчитывалась исходя из его производительности. Каждый робот вел запись о степени успеха в сборе пищи, в то время как соседние роботы вели сравнение своих успехов и стратегий, соответственно, стимулировали и подавляли друг друга.

Ватанабе в 1998 году разработал концепцию децентрализованного механизма адаптивного управления механизмом ходьбы шестиногого робота. Используя идею В-клеток и иммунной сети, где В-клетки представляли собой ноги робота и механизм иммунной сети, тем самым связывая каждую ногу друг с другом в единую систему. Данная система обучалась управлению движениями

робота. Каждая В-клетка фиксировала уровень концентрации антител. В-клетка с наибольшей концентрацией двигалась вперед.

Лау и Ко в 2007 году предложили систему роботизированного поиска и спасения основанную на системе иммунного управления, которую назвали GSCF. Данная система базировалась на подавлении иммунных клеток. Децентрализованная система способствовала связи и навигации систем роботов в разрушенных бедствием районах. Система роботов включала в себя двух роботов и одного оператора управления, но также могла содержать большее количество роботов. GSCF содержала в себе пять основных компонентов: оценка аффинности, клеточный дифференциатор, клеточный реактор, модуль подавления и окружающую среду.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дасгупта Д. Искусственные нейронные сети и искусственные иммунные системы: Сходства и различия // Конференция Systems, Man and Cybernetics, Орландо, штат Флорида. 1997. Выпуск 1, с. 873 - 878
2. Келанда Ф., Сейден П.И. Компьютерная модель клеточных взаимодействий в иммунной системе // Immunology Today. 1992. Вып. 13, №2, с. 56-62.
3. Мизутани Х. Иммунитет на основе обучения - Интеграция распределенного поиска и ограничения релаксации // Материалы конференции ICMAS Workshop on Immunity-Based Systems. 1996 – с. 678-684.
4. ДеБоер Рж., Хогевен П., Перелсон А., Рост и отбор в иммунной сети // Теоретические и экспериментальные идеи в области иммунологии : SpringerVerlag. 1992. стр. 223-247.
5. ДеБоер Рж., Перелсон А.С. Размер и возможности подключения, как возникающие свойства развивающейся иммунной сети // Журнал теоретической биологии // Journal of Theoretical Biology. 1991. Выпуск 149, стр. 381-424.
6. Де Монвель Ж., Мартин О. Объем памяти в больших идиотипических сетях // Bulletin of Mathematical Biology. 1995. Выпуск 57, стр. 109.

7. Айкелин И., Краузер С. Теория опасности и ее применение к искусственным иммунным системам // Международная конференция ICARUS-2002. 2002. стр. 141-148.

8. Прието У., Нино Ф., Кинтана Г. Тактика вратаря в футболе с роботами на основе теории опасности // *Evolutionary Computation*. 2008. стр. 3443-3447.

9. Икбал А., Мааров М.А. Теория опасности и интеллектуальная обработка данных // *WorldAcademyofScience, EngineeringandTechnology*. 2005, Выпуск 3, стр. 646-649.

10. Де Кастро Л.Н., Фон Зубен Ф.Ж. Обучение и оптимизация с применением принципа клональной селекции // Принято к публикации в *IEEE Transactions on EvolutionaryComputation*, Специальный выпуск искусственных иммунных систем. 2002. Выпуск 6, номер 3, стр. 239-251

11. Берк И.К., Кендалл Г., *Методология поиска: Вводная теория по оптимизации и поддержки принятия решений*, Springer Science & Business Media, Университет Ноттингема, Великобритания, 2014, стр. 620.

12. Частикова В.А. Исследование основных параметров генетического алгоритма метода генетических схем в интеллектуальных системах, основанных на знаниях // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2011. № 69. С. 151-163.

13. Частикова В.А. Оптимизация процессов поиска решений в интеллектуальных системах обработки экспертной информации на основе генетических алгоритмов / Частикова Вера Аркадьевна. Дисс... канд.техн. наук, 05.13.01/ Кубанский государственный технологический университет. Краснодар, 2005 – 186 с.

## REFERENCES

1. Dasgupta D. *Iskusstvennyye neyronnyye seti i iskusstvennyye immunnyye sistemy: Skhodstva i razlichiya* // *Konferentsiya Systems, Man and Cybernetics*, Orlando, shtat Florida. 1997. Vypusk 1, s. 873 - 878

2. Kelanda F., Seyden P.I. *Kompyuternaya model kletochnykh vzaimodeystviy v immunnoy sisteme* // *Immunology Today*. 1992. Vyp. 13, №2, s. 56-62.

3. Mizutani Kh. Immunitet na osnove obucheniya - Integratsiya raspredelennoogo poiska i ogranicheniya relaksatsii // Materialy konferentsii ICMAS Workshop on Immunity-Based Systems. 1996 – s. 678-684.

4. DeBoer Rzh., Khogeven P., Perelson A., Rost i otbor v immunnnoy seti // Teoreticheskie i eksperimentalnye idei v oblasti immunologii : SpringerVerlag. 1992. str. 223-247.

5. DeBoer Rzh., Perelson A.S. Razmer i vozmozhnosti podklyucheniya, kak voznikayushchie svoystva razvivayushcheysya immunnnoy seti // Zhurnal teoreticheskoy biologii // Journal of Theoretical Biology. 1991. Vypusk 149, str. 381-424.

6. De Monvel Zh., Martin O. Obem pamyati v bolshikh idiotipicheskikh setyakh // Bulletin of Mathematical Biology. 1995. Vypusk 57, str. 109.

7. Aykelin I., Krauzer S. Teoriya opasnosti i ee primenenie k iskusstvennykh immunnykh sistem // Mezhdunarodnaya konferentsiya ICARUS-2002. 2002. str. 141-148.

8. Prieto U., Nino F., Kintana G. Taktika vratarya v futbole s robotami na osnove teorii opasnosti // Evolutionary Computation. 2008. str. 3443-3447.

9. Ikkal A., Maarov M.A. Teoriya opasnosti i intellektualnaya obrabotka dannykh // WorldAcademyofScience, EngineeringandTechnology. 2005, Vypusk 3, str. 646-649.

10. De Kastro L.N., Fon Zuben F.Zh. Obuchenie i optimizatsiya s primenenie printsipa klonalnoy selektsii // Prinyato k publikatsii v IEEE Transactions on EvolutionaryComputation, Spetsialnyy vypusk iskusstvennykh immunnykh sistem. 2002. Vypusk 6, nomer 3, str. 239-251

11. Berk I.K., Kendall G., Metodologiya poiska: Vvodnaya teoriya po optimizatsii i podderzhki prinyatiya resheniy, Springer Science & Business Media, Universitet Nottingema, Velikobritaniya, 2014, str. 620.

12. Chastikova V.A.Issledovanie osnovnykh parametrov geneticheskogo algoritma metoda geneticheskikh skhem v intellektualnykh sistemakh, osnovannykh na znaniyakh // Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2011. № 69. S. 151-163.

13. Chastikova V.A. Optimizatsiya protsessov poiska resheniy v intellektualnykh sistemakh obrabotki ekspertnoy informatsii na osnove geneticheskikh algoritmov / Chastikova Vera Arkadevna. Diss... kand.tekhn. nauk, 05.13.01/ Kubanskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet. Krasnodar, 2005 – 186 s.

*ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM: BASIC APPROACHES AND FEATURE OF THEIR REALIZATION*

**V.A. CHASTIKOVA, D.A. KARTAMYSHEV**

*Kuban State Technological University,  
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072;  
e-mail: smogee13@gmail.com*

The article describes a new area of computer science and mathematical modeling - artificial immune system. There are the basic principles and mechanisms of the immune system, the history of creation and development of the basic theories of the immune system. This direction is close to the ideas and methods of artificial intelligence, but slightly different primal position and approaches. In the middle of the last century it was offered the first algorithms of artificial immune systems, but only in recent years this direction has been the main development. The unique properties of the immune system allow to work together with other algorithms: neural networks, evolution algorithms, heuristic analysis. Immune systems and hybrid algorithms are used in science and industry. These examples are given in the article, where the immune system are used for the construction of algorithms for data analysis, optimization and identification, computer safety and internet security and other applications.

**Key words:** immune systems, artificial intelligence, immune network, the dangers theory of selection algorithms.