

В.А. Малышев, Ю.В. Никитенко
**ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ПОДСИСТЕМЫ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ
АНОМАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

Воронежский институт высоких технологий

Рассмотрено решение задачи нейтрализации аномальных воздействий на основе применения искусственных иммунных систем. Обоснована и разработана обобщенная модель подсистемы нейтрализации аномальных воздействий. Подробно раскрыты этапы функционирования наиболее сложных компонентов данной подсистемы.

Ключевые слова: искусственная иммунная система, нейтрализация аномальных воздействий, модуль моделирования, база моделей.

По аналогии с биологическим иммунитетом, очевидно, что искусственные иммунные системы (ИИС) предназначены для защиты. Однако прежде чем построить модель ИИС, необходимо кратко рассмотреть, каким же образом функционирует биологическая иммунная система [1].

Главным принципом действия человеческой иммунной системы является сравнение определенных «шаблонов» с находящимися внутри организма телами и выявление, таким образом, инородных тел, называемых антигенами. Роль упомянутых шаблонов выполняют лимфоциты, постоянно генерируемые спинным мозгом и тимусом с учетом информации, содержащейся в ДНК (такая информация все время накапливается, и процесс этот называется эволюцией геномной библиотеки), и разносимые организмом через лимфатические узлы, причем каждый тип лимфоцита отвечает за обнаружение какого-то ограниченного числа антигенов. При генерировании лимфоцитов проводится так называемая негативная селекция, в процессе которой происходит своеобразный тест на соответствие родным клеткам организма: если подобное соответствие имеет место, «зародышевый» лимфоцит уничтожается, ведь в противном случае, очевидно, он будет бороться с собственными клетками. Иными словами, благодаря негативной селекции создаются «шаблоны», содержащие ту информацию, которая внутри организма отсутствует, и если какое-то тело подходит под данный шаблон, значит, оно явно чужое.

В случае обнаружения лимфоцитами антигена, на основании соответствующего шаблона вырабатываются антитела, которые и уничтожают его. Здесь задействуется еще один процесс – клональная селекция, во время которой происходит своеобразный естественный отбор антител: выживают лишь те, что максимально подходят под найденный антиген. При этом сведения о сгенерированных антителах «заносятся» в, упоминавшуюся выше, геномную библиотеку.

Специалистами, работающими в области ИИС, отмечаются три основных свойства иммунной системы человека:

- во-первых, она является распределенной;
- во-вторых, она самоорганизующаяся;
- в-третьих, она не особо требовательна к вычислительным ресурсам.

Именно этими свойствами, по нашему мнению, должна обладать подсистема нейтрализации аномальных воздействий (ПНАВ) систем управления технологических комплексов (ТК), которая по своим характеристикам приближалась бы к максимально эффективной. В обобщенном виде ПНАВ должна выполнять ряд функций, которые можно разбить на несколько операций.

В первой операции создания и эволюции генной библиотеки происходит накопление информации о характере аномальных воздействий на технологический комплекс. Генная библиотека искусственной иммунной системы должна содержать «гены» (это могут быть, например, данные о характеристических параметрах воздействий, схеме воздействий, их экстенсинале и интенсинале), на основании которых будут генерироваться особые информационные агенты – детекторы, служащие аналогами лимфоцитов. Начальные данные для формирования генной библиотеки выбираются, исходя из предметной области применения ТК, в частности их слабых, с точки зрения надежности и эффективности функционирования, мест. В дальнейшем, при обнаружении детекторами аномальной активности на входе системы к библиотеке будут добавляться соответствующие этим проявлениям новые «гены». Следует заметить, что поскольку размер генной библиотеки ограничен, в ней сохраняются только «гены», проявляющиеся наиболее часто.

Во второй операции путем произвольного комбинирования «генов» происходит генерирование так называемых преддетекторов (аналоги «зародышевых» лимфоцитов), которые затем с помощью механизма негативной селекции проверяются на совместимость (или точнее, на несовместимость) с нормальным функционированием ТК.

Конечной целью в этом случае является создание ограниченного набора детекторов, с помощью которого можно было бы обнаружить максимальное число аномальных воздействий. Этот набор рассылается по датчикам внешних воздействий ТК.

При обнаружении аномального воздействия происходит клональная селекция, т.е. соответствующий ей детектор рассылает на все датчики и компоненты системы сигнал об обнаруженном воздействии. Окончательное же решение о том, происходит аномальное воздействие или нет, принимается на основании данных от нескольких датчиков (в исключительном случае, на основе одного).

Многие специалисты склонны проводить параллели между ИИС и искусственными нейронными сетями: например, и те, и другие способны изучать динамику и статистические свойства наблюдаемой системы; для достижения максимальной эффективности и в том, и в другом случае

необходимо подбирать значения управляющих параметров и т. д. В то же время имеется и ряд существенных отличий, являющихся, в первую очередь, следствием различия между имитируемыми системами – нервной и иммунной. Скажем, первая состоит из фиксированных элементов (нейронов), а вторая – из блуждающих (лимфоцитов), первая управляется одним центральным органом (мозгом), а второй подобное «централизованное» управление не свойственно, в первой взаимодействие между элементами является постоянным, а во второй носит кратковременный характер и т. п.

Однако нельзя полностью разделить эти понятия и системы. Нейронные сети вполне способны стать частью иммунных систем. В частности, в ПНАВ нейронная сеть может играть роль детектора.

Чтобы показать конкретное применение ИИС в системе управления ТК в качестве ПНАВ сначала необходимо рассмотреть обобщенную модель такой системы. Представим процесс функционирования ПНАВ в виде решения частных задач в несколько этапов.

Для ПНАВ в процессе ее функционирования следует выделить промежуточные задачи:

- оценка текущего воздействия и формирование его динамической модели;
- выбор или выработка варианта противодействия аномальным воздействиям;
- проверка на согласованность результатов решения первых двух задач;
- выработка общего решения на противодействие.

Для решения первой задачи необходимо и достаточно оценить и провести таксономизацию поступающих на вход системы информационных сигналов о воздействиях.

На первом шаге происходит прием и выделение информации детекторами из всего множества сигналов, поступающих на вход (датчики) системы, а на втором шаге на основе принятых информационных сигналов из базы моделей аномальных воздействий (БМАВ) выбирается та модель, характеристики и признаки которой в наибольшей степени соответствуют принятой информации. Далее, исходя из особенностей выбранной модели, определяется динамика развития ситуации.

На основе выбранной модели аномальных воздействий и ее динамики решается вторая задача. Решение состоит в определении из множества «антител» тех, которые эффективны для динамики выбранной модели аномальных воздействий. Набор таких «антител» составляет количественный вектор задачи нейтрализации аномальных воздействий, которая, по сути, является задачей принятия решения. Очевидно, что каждый элемент этого вектора будет характеризоваться своими качественными признаками, причем теми, которые имеют значительный вес в данной ситуации. Тогда, в свою очередь, набор таких признаков каждого элемента количественного

вектора будет представлять собой качественный вектор задачи нейтрализации аномальных воздействий (ЗНАВ).

Для четкого формирования модели ПНАВ представим всю процедуру нейтрализации аномальных воздействий в виде отдельных этапов, с дальнейшей увязкой их в обобщенную модель системы, реализующей эти этапы.

Этапы процедуры нейтрализации аномальных воздействий:

1. Определение границ предметной области конкретного технологического комплекса $R_{\text{min}}, R_{\text{max}}$.
 2. Составление базы моделей системы V_c .
 3. Составление базы моделей аномальных воздействий предметной области $V_{\text{ав}}$.
 4. Составление базы алгоритмов нейтрализации аномальных воздействий V_n .
 5. Определение существенных признаков аномального воздействия X_v .
 6. Выбор или построение модели аномального воздействия $M_{\text{ав}}$.
 7. Выбор текущей модели системы $M_{\text{тек}}$.
 8. Построение модели общей обстановки $M_{\text{оо}}$.
 9. Выбор или синтез алгоритма нейтрализации аномального воздействия.
 10. Реализация алгоритма нейтрализации аномального воздействия.
- Обобщенная модель ПНАВ представлена на рисунке 1.

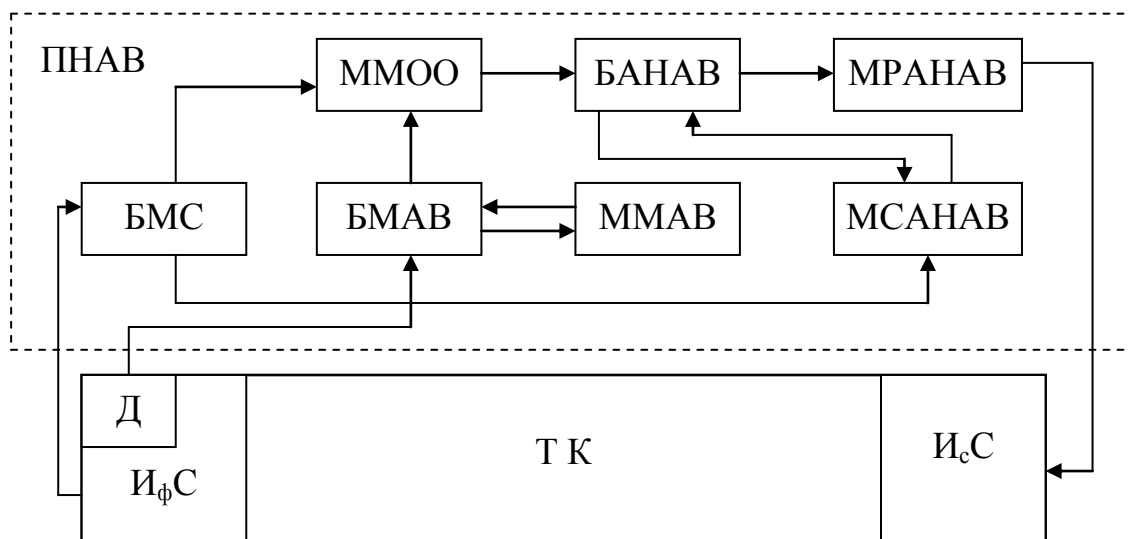


Рисунок 1. Обобщенная модель подсистемы нейтрализации аномальных воздействий на технологический комплекс

Данная модель содержит два типа компонентов: базы данных и специальные модули или агенты. В свою очередь, в совокупности БМАВ и модуль моделирования аномальных воздействий (ММАВ) представляют собой базу знаний моделей аномальных воздействий (БЗМАВ), а база ал-

горитмов нейтрализации аномальных воздействий (БАНAB) с модулем синтеза алгоритмов нейтрализации аномальных воздействий (МСАНAB) составляют соответствующую базу знаний (БЗАНAB). Для моделирования общей обстановки на момент обнаружения аномального воздействия предназначен модуль моделирования общей обстановки (ММОО), который функционирует на основе информации от БМАВ и базы моделей системы (БМС). Модель системы выбирается из базы на основе данных от информационной подсистемы (И_фС) ТК. Для реализации алгоритма нейтрализации аномальных воздействий (АНAB) предназначен модуль реализации данного алгоритма (МРАНAB), который вырабатывает управляющие сигналы для исполнительной подсистемы (И_сС) ТК. Таким образом, цепь замыкается и после начала выполнения алгоритма происходит постоянное слежение за функционированием системы и текущими результатами выполнения алгоритма.

Данная модель наглядно показывает все взаимосвязи между отдельными этапами процедуры нейтрализации аномальных воздействий и позволяет определить формальное разделение подзадач в рамках ЗНАВ.

Самым сложным модулем является МРАНAB, который собственно должен реализовать решение ЗНАВ. АНАВ является по сути обобщенным и его реализация требует выполнения определенных действий для его конкретной детализации. Поэтому представим процесс функционирования МРАНAB более развернуто в виде следующих этапов:

1. Определение целевой функции ЗНАВ G_3 в соответствии с выбранным АНАВ.
2. Декомпозиция ЗНАВ до уровня элементарных задач (ЭЗ).
3. Построение динамической модели текущей ситуации $M_{\text{стек}}$ и модели предпочтений текущей ситуации $M_{\text{птс}}$.
4. Определение критериев для реализации промежуточных задач (ПЗ) $R_{\text{пз}}$ и их ситуационных весов b_R .
5. Определение необходимого и достаточного объема информации $V_{\text{из}}$ для каждой ЭЗ.
6. Покритериальный сбор информации $I^+ \cup I^-$.
7. Фильтрация информации I^+ .
8. Принятие элементарных решений (ЭР).
9. Проверка ЭР на согласованность и конфликт.
10. Разрешение конфликта на основе выбора ситуационных предпочтений $PR_{\text{стек}}$ и принятие решений по промежуточным задачам $S_{\text{пз}}$.
11. Принятие общего решения на нейтрализацию аномальных воздействий SR согласно целевой функции.

Опишем более подробно сущность и особенности каждого этапа.

Этап 1. По своей сути, цель ЗНАВ можно представить как выбор альтернативы динамического преобразования модели текущей ситуации

для приобретения ею необходимых качественных и количественных показателей за минимальное время. Тогда можно записать

$$\Gamma_3(t) : M_{\text{стек}} \xrightarrow{t \rightarrow \min} M_{\text{стр}}, \quad (1)$$

где $M_{\text{стр}}$ – необходимая модель ситуации.

Исходя из выражения (1), для достижения цели ЗНАВ нужно знать модели текущей и требуемой ситуаций. В свою очередь, в этих моделях для ЗНАВ интерес представляет только состояние управляемых переменных [2]. Применительно к ЗНАВ управляемыми переменными являются наборы «антител», которые содержатся в макрофагах, вырабатываются Т-лимфоцитами и В-лимфоцитами. В ПНАВ эти роли могут выполнять: нейронная сеть Кохонена – как макрофаги; Т-лимфоциты и В-лимфоциты – частные алгоритмы нейтрализации аномальных воздействий (решения элементарных задач), формируемых МРАНАВ. Отличие целей этих алгоритмов заключается в том, что Т-лимфоциты прекращают работу тех подсистем, устройств, компонентов системы, которые подверглись аномальным воздействиям, приведшим к их неправильному функционированию. В-лимфоциты нейтрализуют непосредственно аномальные воздействия до того, как они выведут из строя нормально функционирующие устройства системы.

Тогда применительно к ЗНАВ модели ситуаций можно записать как

$$M_c = \{C_{ci}\}, \quad i = \overline{1, N_c}, \quad (2)$$

где C_{ci} – управляемые переменные данной ситуации; N_c – количество управляемых переменных в данной ситуации.

Следовательно, целевую функцию ЗНАВ необходимо преобразовать к следующему виду:

$$\Gamma_{\text{ЗНАВ}}(t) : \{C_{ci \text{ тек}}\} \xrightarrow{t \rightarrow \min} \{C_{ci \text{ тр}}\}. \quad (3)$$

Следует отметить тот факт, что если состояние неуправляемых переменных или констант текущей ситуации не позволяет реализовать выражение (1), то задача в принципе не может быть решена и выполнение дальнейших этапов не имеет смысла. В этом случае следует произвести формулировку новой задачи или отказаться от ее решения.

Этап 2. Если ЗНАВ является сложной (иерархической или взаимосвязанной параллельной), то необходимо провести ее декомпозицию с целью сведения ЗНАВ к множеству ЭЗ, не требующих вмешательства человека [3]. Декомпозиция выполняется следующим образом:

- формулируется множество критериев решения ЗНАВ;
- для каждого критерия в ЗНАВ определяется множество альтернатив в зависимости от количества управляемых переменных, их весов и взаимосвязей;

- если альтернатива не имеет аксиомного подтверждения, то на ее основе, в свою очередь, формируется новая промежуточная задача, и определяются свои варианты разрешения задачи и так далее.

Сложность данного этапа заключается в правильном нахождении альтернатив и формулировки новой задачи. Однако если первоначальная проблема укладывается в предметную область базы знаний системы, то с использованием семантических сетей или сети фреймов возможно достижение необходимого уровня декомпозиции общей задачи. Исходя из вышеизложенного, этот этап можно описать следующим образом. Пусть для какой-либо ПЗ, принадлежащей некоторой предметной области (ПО) по определенному критерию существует множество альтернатив ее разрешения $A_3 = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$. Причем для каждой альтернативы справедливо

$$\forall a_k = \{C_{C_{i,k}}\}, \quad (4)$$

где $C_{C_{i,k}}$ – множество управляемых переменных, состояние которых соответствует альтернативе a_k .

Тогда сначала необходимо проверить следующее условие

$$\exists S_{ПЗ} \equiv \exists a_k \in B_a, \quad (5)$$

где $S_{ПЗ}$ – решение задачи, B_a – база аксиом.

Если условие (5) выполняется, то задача является решенной. Если оно невыполнимо, то для каждой альтернативы a_k формулируется подзадача m со своими вариантами ее разрешения $a_{km} \subset a_k$ как

$$\Gamma_{ПЗm}(t) : \{C_{ckm \text{ тек}}\} \xrightarrow{t \rightarrow \min} \{C_{ckm \text{ тр}}\}, \quad (6)$$

где $\Gamma_{ПЗm}$ – целевая функция m -й ПЗ, сформулированная из альтернативы $a_m \in a_k$; $C_{ckm \text{ тек}}$, $C_{ckm \text{ тр}}$ – текущие и требуемые управляемые переменные в новой ПЗ соответственно.

Далее для новой задачи проверяется условие (5). Если оно не выполняется, то производится дальнейшая декомпозиция ПЗ. Если условие выполнимо, то для данного критерия процесс прекращается. Выбирается следующий критерий и процесс повторяется.

Так происходит формирование множества ЭЗ, на основе решения которых на последующих этапах алгоритма формируется согласованное решение исходной ЗНАВ.

Этап 3. Динамическая модель текущей ситуации необходима, во-первых, для определения критериев в промежуточных и элементарных задачах и их ситуационных весов, а во-вторых, для реализации работы подсистем эвристики и диагностики и управления [3]. В общем случае модель текущей ситуации представляет собой совокупность фона и объекта проблемы [2]. Для того чтобы она была динамической необходимо определить алгоритм изменения всех переменных модели.

В общем виде модель текущей ситуации можно представить в виде выражения (1). Однако для более полного ее описания следует преобразовать его к следующему виду:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = f_c(C_i, t, c_0); \quad (7)$$

$$\frac{\partial U_n}{\partial t} = f_u(U_n, t); \quad (8)$$

$$M_{\text{стек}} = \{C_i\} \cup \{U_n\}, \quad (9)$$

где t – текущее время; f_c – функция изменения управляемых переменных; c_0 – текущее управляющее воздействие на объект проблемы до вмешательства лица, принимающего решения (ЛПР); f_u – функция изменения неуправляемых переменных.

Определение модели текущей ситуации позволит предсказать поведение системы и скорректировать управляющее воздействие на переменные с целью приведения их в требуемое состояние.

Этапы 4 – 7 раскрывают процедуру сбора необходимой и достаточной информации для формирования общего решения задачи.

Этап 4. Для каждой ПЗ и ЭЗ необходимо определить критерии ее решения, а в случае, когда их несколько – объявить вес каждого. Весовые коэффициенты критериев расставляются в зависимости от ситуации, в которой существует каждая задача. Причем, как критериев, так и альтернатив в каждой задаче может быть несколько. Тогда можно записать, что каждой задаче соответствует множество альтернатив $\{a_{э1}, a_{э2}, \dots, a_{эk}\}$, $k = \overline{1, K}$, где K – количество альтернатив в данной задаче, и множество критериев $\{R_{з1}, R_{з2}, \dots, R_{зs}\}$, $s = \overline{1, S}$, где S – количество критериев.

Для многокритериального выбора в промежуточных задачах необходимо каждому критерию присвоить свой вес b_{R_s} .

Тогда основная задача на данном этапе – поставить в соответствие модели текущей ситуации вес критериев каждой задаче

$$\forall M_{\text{стек}} \Leftrightarrow \forall \exists \{b_{R_s}\}, s = \overline{1, S}. \quad (10)$$

Причем выражение (10) отражает однозначное и единственное соответствие для каждой модели ситуации.

Этап 5. На данном этапе необходимо определить необходимый и достаточный объем входной информации для однозначного определения факта существования альтернатив для каждой ЭЗ. Иначе говоря, после выделения ЭЗ из общей задачи и выбора альтернатив для каждой из них необходимо проверить возможность существования той или иной альтернативы в текущей ситуации.

Для этого необходимо собрать информацию, наличие которой будет свидетельствовать о существовании альтернативы, т.е. определить ее объем. Тогда объем информации для решения m -й ЭЗ будет определяться как:

$$V_{изм} \Leftrightarrow \exists \{a_{1m}, a_{2m}, \dots, a_{km}\}, m = \overline{1, Z}; \quad (11)$$

$$V_{изм} = V_{из1m} \cup V_{из2m} \cup \dots \cup V_{изkm}, \quad (12)$$

где Z – количество ЭЗ.

В то же время объем информации для определения каждой альтернативы должен отвечать следующему условию:

$$V_{изкм} \Leftrightarrow (\exists a_{км} | \forall R_{эпрм}), \quad (13)$$

где $R_{эпрм}$ – множество критериев m -й ЭЗ.

Определение необходимого и достаточного объема информации для каждой ЭЗ позволяет перейти непосредственно к процедуре информационной фильтрации.

Этап 6. Прежде чем определить правила покритериального сбора информации необходимо обозначить те объекты окружающего мира, которые будут ее составлять. Для выделения и полного определения альтернативы и задачи достаточно описать ее понятиями.

Определение 1. Под понятием будем понимать класс сущностей, объединяемых на основе общности атрибутивных структур [4]. Любое простое понятие можно описать тройкой: имя, интенционал, экстенционал. Имя понятия – это любой идентификатор, интенционал понятия – множество его свойств с областями их определения, экстенционал понятия – совокупность кортежей значений, удовлетворяющих интенционалу [4].

Каждое понятие описывается множеством существенных признаков, отвечающих требованиям полноты и неизбыточности [4]

$$P_{по} = \{X_{по1}, X_{по2}, \dots, X_{поh}\}, \quad (14)$$

где $P_{по}$ – понятие конкретной предметной области; $X_{поh}$ – существенные признаки $P_{по}$.

Для представления понятий в ЭЗ расширим определение 1 и представим имя понятия как его схему

$$shm P_{по} = \langle D_p, H_p, V_p \rangle, \quad (15)$$

где D_p – множество дифференциальных признаков, характеризующих содержание понятий; H_p – множество характеристических признаков, позволяющих отличать сущности в объеме одного понятия; V_p – множество валентных признаков, обеспечивающих бинарные связи между понятиями.

Определение 2. Конкретное значение сущности или ее признака – есть денотат этого объекта [4].

В соответствии с определением 2 экстенционал понятия $extP_{по}$ будет содержать множество его допустимых денотатов

$$extP_{по} = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}, \quad (16)$$

где e_n – денотаты понятия $P_{по}$, определяющиеся как

$$e_n = (\{y_1^n, y_2^n, \dots, y_m^n\}, Y_n), \quad (17)$$

где y_m^n – конкретное значение денотата сущности Y_n понятия $P_{по}$.

В свою очередь, интенционал понятия $intP_{по}$ можно представить как множество дифференциальных признаков

$$int P_{по} = \{(D_{p1}, d^1), (D_{p2}, d^2), \dots, (D_{pg}, d^g)\}, \quad (18)$$

где D_{pg} – g -й дифференциальный признак; d^g – значение признака D_{pg} .

Тогда понятие можно записать в виде кортежа

$$P_{\text{по}} = \langle \text{int}P_{\text{по}}, \text{ext}P_{\text{по}}, \text{shm}P_{\text{по}} \rangle. \quad (19)$$

Таким образом, на этапе сбора информации необходимо определить компоненты понятий, составляющих альтернативы ЭЗ, т.е. выделить соответствующие признаки и определить их конкретные значения. Причем это нужно проделать для каждого критерия. При этом у альтернативы, присутствующей в ЭЗ при разных критериях будет различное значение некоторых признаков.

Этап 7. Фильтрация собранной информации по своей сути является процедурой абстракции. Под абстракцией здесь понимается выделение существенных признаков и связей понятия (положительной информации), используемых при решении ЭЗ по определенному критерию, и игнорирование несущественных (отрицательной информации) [4].

Известны четыре типа абстрагирования понятий: агрегация, обобщение, типизация и ассоциация [4]. Анализ данных типов абстрагирования показал, что для организации автоматического процесса информационной фильтрации необходимо производить абстрагирование в два шага. На первом шаге абстрагирование производится путем ассоциации. В данном случае для определения положительных дифференциальных признаков $\text{ext}P_{\text{по}}^+$ необходимо произвести декартово произведение экстенционалов эталонного $\text{ext}P_{\text{по0}}$ и исследуемого $\text{ext}P_{\text{пои}}$ понятий

$$\text{ext}P_{\text{по}}^+ = \text{ext}P_{\text{пои}} \times \text{ext}P_{\text{по0}}. \quad (20)$$

В результате первого шага производится «грубая» фильтрация информации. Для «точной» фильтрации необходимо провести абстракцию типизацией. На втором шаге производятся операции со всеми компонентами понятий, а именно производится анализ на точное соответствие исследуемых понятий эталонным:

$$\text{int}P_{\text{по}}^+ = \text{int}P_{\text{пои}} = \text{int}P_{\text{по0}}; \quad (21)$$

$$\text{shm}P_{\text{по}}^+ = \text{shm}P_{\text{пои}} = \text{shm}P_{\text{по0}}; \quad (22)$$

$$\text{ext}P_{\text{по}}^+ = \text{ext}P_{\text{пои}} \amalg \text{ext}P_{\text{по0}}. \quad (23)$$

Здесь знак \amalg означает операцию размеченного объединения.

Таким образом, в результате информационной фильтрации в решении задачи присутствуют только те альтернативы, определяющие понятия которых позволяют сделать однозначный выбор в ЭЗ на основании конкретного критерия.

В процессе выполнения этапов 8 – 11 формируется общее решение задачи в обобщенном алгоритме.

Этап 8. Решение элементарных задач производится по так называемым ситуационным аксиомам. Сущность ситуационной аксиомы заключается в том, что для каждой ситуации при условии существования множе-

ства критериев в ЭЗ для каждого критерия из множества альтернатив существует такая, которая в текущей ситуации является аксиомой, т.е.

$$\forall R_{\text{эзпрм}}^s \in \{R_{\text{эзпрм}}\} \rightarrow \exists a_{\text{мс}}^\alpha \in \{a_{\text{мс}} | R_{\text{эзпрм}}^s\}, \quad (24)$$

где $R_{\text{эзпрм}}^s$ – s-й критерий в m-й ЭЗ; $a_{\text{мс}}^\alpha$ – аксиома для s-го критерия в m-й ЭЗ.

В каждой предметной области и текущей ситуации (критерии) существует только одна своя аксиома, поэтому принятие решения в ЭЗ можно осуществить автоматически. Для этого нужно провести операцию аналогии альтернатив ЭЗ с содержанием базы аксиом. Причем в этой базе аксиомы представлены не как альтернативы, а как варианты решения задачи при соблюдении определенных условий. В данном случае условием является критерий решения ЭЗ. Тогда аксиому можно представить как

$$a_{\text{мс}}^\alpha = (a_k^{\text{ax}} | C_k^{\text{ax}} = R_{\text{эзпрм}}^s), \quad (25)$$

где a_k^{ax} – k-я аксиома из базы аксиом; C_k^{ax} – условие, при котором a_k^{ax} является аксиомой.

В случае, если ни одной из альтернатив не соответствует ни одна аксиома, то задача не является ЭЗ в данной предметной области.

Этап 9. Идеальный вариант, когда все принятые решения по всем ЭЗ согласуются между собой, не всегда вероятен. Поэтому предусмотрена проверка всех ЭР на совместимость и отсутствие конфликта.

Допустим, что результатом решения i-й ЭЗ явилась альтернатива a_{ij}^α , k-й задачи – a_{km}^α , q-й задачи – a_{qp}^α . В свою очередь, i-я, k-я и q-я ЭЗ формируют три альтернативы задачи высшего уровня иерархии для критерия R_{31} . Предположим, что таких критериев три.

Для принятия решения в задаче высшего уровня необходимо оценить согласованность решений ЭЗ. В данной постановке вопроса под согласованностью решений ЭЗ будем понимать непротиворечие аксиом по разным критериям для одной задачи.

В рассматриваемом примере возможны три варианта ситуации принятия решения: согласованное, несогласованное, конфликтное.

Первый вариант предусматривает, что при различных критериях были выбраны одинаковые аксиомы. Тогда решение задачи принимается по максимальному количеству одинаковых аксиом. Т.е. если решением i-й ЭЗ по критерию R_{31} и k-й ЭЗ по критерию R_{32} явилась аксиома a_{fg}^α , $f=i=k$, то эта аксиома будет решением задачи высшего уровня. В этом случае решения ЭЗ согласованы между собой.

В обобщенном виде согласованное решение задачи можно записать следующим образом:

$$Q_p(x, y) = \sum_{i=1}^{S_p} \sum_{j=1}^{Z_p} (a_{xy}^\alpha \times a_{ms}^\alpha); \quad x, m = \overline{1, S_p}; \quad y, s = \overline{1, Z_p}; \quad Q_p(x, y) \leq S_p; \quad (26)$$

$$S_{пзq} = \max Q_p(x, y), \quad (27)$$

где S_p – количество критериев в промежуточной задаче; Z_p – количество ЭЗ в промежуточной задаче; $S_{пзq}$ – решение промежуточной задачи.

Этап 10. Если решения ЭЗ не являются согласованными, то они могут находиться в состоянии конфликта, т.е. когда существуют несколько $Q(x, y)$, значения которых равны. Следовательно, нельзя однозначно определить SR_p . Несогласованными решения ЭЗ будут считаться в том случае, если $Q(x, y)=0$, т.е. все аксиомы ЭЗ в данной задаче различны.

Если провести экспертные оценки всех полученных аксиом по всем критериям, то задачу можно было решить любым известным методом, например, методом взвешенной выборки.

Для разрешения несогласованности и конфликта решений необходимо сформировать ситуационные предпочтения, т.е. определить множество понятий предпочтения $P_{птс}$ и отношений предпочтения $r_{птс}$ модели текущей ситуации, которые ее описывают в большей мере и составляют модель предпочтений $M_{птс}$:

$$M_{стек} \Rightarrow M_{птс} \{P_{птс}, r_{птс}\}. \quad (28)$$

На основе ситуационных предпочтений формируются правила разрешения конфликта и несогласованности при принятии решения.

Для устранения конфликта необходимо определить, какой из критериев в текущей ситуации предпочтительнее других (имеет больший вес). Очевидно, что определение таких весов нужно осуществлять на основе сформированных понятий предпочтения, используя механизмы логического вывода.

Если предпочтения критериев определены, то конфликт разрешается путем выбора того $Q(x, y)$, в котором большинство альтернатив, дающих при перемножении единицу, принадлежат критерию с большим весом (предпочтением)

$$S_{пзq} = \max \{Q_p(x, y) | \exists R_{zi} \succ \forall R_{zj}\}, \quad (i \neq j) \in S. \quad (29)$$

В случае несогласованности элементарных решений выбор альтернативы (для задачи высшего уровня решения ЭЗ аксиомами не являются) осуществляется из вариантов того критерия, вес которого в текущей ситуации больше. Сами альтернативы так же, как и критерии взвешиваются на основе определения степени отношения к модели $M_{птс}$. Далее выбирается та альтернатива, у которой вес w_a наибольший:

$$S_{пзq} = \max \{w(a_{ms}) | R_{zi} \succ \forall R_{zj}\}, \quad (30)$$

где $w(a_{ms})$ – вес альтернативы a_{ms} .

На данном этапе наибольшие сложности в реализации вызывает процедура взвешивания критериев и альтернатив. В общем случае ее можно описать операциями, рассмотренными на 10-м этапе.

Этап 11. Общее решение задачи производится после разрешения всех ситуаций наличия конфликтных и несогласованных решений. В процессе решения промежуточных задач степень сложности задачи повышается, заканчиваясь на высшем уровне иерархии. По своей сути процесс выработки общего решения практически не отличается от решения промежуточной задачи. Особенность последнего этапа состоит в том, что в нем каждая полученная альтернатива проверяется на соответствие базе аксиом. Цель такой проверки заключается в контроле итоговой согласованности принятия решения.

В случае, если принятое решение является подобным какой-либо аксиоме, а условие существования аксиомы не соответствует поставленной задаче, то принимается решение об ошибочном выборе альтернативы, производится новый синтез модели текущей ситуации и процесс решения задачи повторяется.

Тогда принятие общего решения задачи можно определить как

$$SR = \max\{(S_{пз}) \mid \forall a^\alpha \in B_a = \{\text{true}\}\}. \quad (31)$$

Таким образом, в результате выполнения всех этапов процедуры принятия решения, становится возможным автоматически или автоматизировано выработать общее решение задачи, которое является согласованным, не содержащим неразрешенные конфликты и учитывающее текущую ситуацию, в которой существует задача.

ЛИТЕРАТУРА

1. Люгер Д.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем: пер. с англ. – М.: Вильямс, 2003.
2. Акофф Р. Искусство решения проблем. – М.: Мир, 1982.
3. Малышев, В.А. Метод принятия решения в условиях избыточности информации // Вестн. Воронеж. гос. техн. ун-та. – 2006.– Т. 2, № 3. – С. 82–89.
4. Гаскаров Д.В. Интеллектуальные информационные системы. – М.: Высш. школа, 2003.

V.A. Malyshev, Y.V. Nikitenko
**GENERAL MODEL OF ANOMALOUS INFLUENCE
NEUTRALIZATION SUBSYSTEM IN THE MANAGERIAL SYSTEM
OF THE TECHNOLOGICAL COMPLEX**
Voronezh Institute of High Technologies

The decision of the problem to neutralizations anomalous influence on base of the using artificial immune systems is considered. The general system model to neutralizations anomalous influence is motivated and designed. The stages of the operation the most complex component given systems is detail reveal.

Keywords: artificial immune system, neutralization anomalous influence, module of modeling, the base of the models.