

## АППАРАТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОСОБОГО ПЕРИОДА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МНОГОАГЕНТНЫХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

### Аннотация.

*Актуальность и цели.* Объектом изучения являются многоагентные организационно-технические системы специального назначения. В качестве рационального, интеллектуального в слабом смысле агента рассматривается человек или человек, управляющий техническим средством. Такие системы обладают особым периодом функционирования – периодом хаоса. Целью работы является создание аппарата моделирования периода хаоса.

*Материалы и методы.* В качестве аппарата моделирования особого периода рассматривается  $NK$ -автомат Кауфмана. Автомат представим в виде бинарной сети с  $N$  вершинами и  $K$  входными дугами для каждой вершины. Аналогом периода хаоса является повторяющийся цикл состояний автомата, в который автомат может входить в силу конечного числа своих состояний. Для моделирования функционирования рассматриваемых систем предлагается модифицировать  $NK$ -автомат. Приводится самое общее определение понятия системы, из которого следуют необходимые изменения в работе и в ограничениях  $NK$ -автомата.

*Результаты.* Предлагается реализация модифицированного  $NK$ -автомата, для которого основными отличиями являются измененное распределение булевых функций между вершинами  $NK$ -автомата и измененное понятие состояния  $NK$ -автомата. Проводились эксперименты с ансамблем из 3500 модифицированных  $NK$ -автоматов, состоящих из 10, 30, 50, 75 и 100 вершин, при значении  $K$  от 2 до 5. В качестве примера приводятся результаты эксперимента для модифицированного  $NK$ -автомата из 30 вершин.

*Выводы.* Установлено, что модифицированные  $NK$ -автоматы являются аппаратом моделирования особого, близкого к хаосу периода функционирования многоагентных специализированных систем.

**Ключевые слова:** многоагентная система, рациональный агент,  $NK$ -автомат Кауфмана, синергетика, период хаоса.

М. Yu. Babich, A. M. Babich

## A MODELING APPARATUS OF A SPECIAL PERIOD OF MULTI-AGENT SPECIALIZED SYSTEMS FUNCTIONING

### Abstract.

*Background.* The object of study is multi-agent organizational and technical systems for special purposes. A rational, intellectual, in the weak meaning, agent is considered to be a person or a person controlling technical facilities. These systems

have a special operation period - the chaos period. The purpose of the work is to create a chaos period modeling apparatus.

*Materials and methods.* The Kaufmann NK-automaton is considered as the special period modeling apparatus. The automaton is represented as a binary network with  $N$  vertices and  $K$  input arcs for each vertex. An analogue of the chaos period is the repeated states cycle of the automaton, in which the automaton can enter on the strength of a finite number of its states. It is proposed to modify the NK automaton for simulation of the considered systems functioning. The most general definition of the concept of a system is given; from this follows the necessary changes in the work and in the limitations of the NK automaton.

*Results.* Proposed the realization of a modified NK automaton, for which the main differences are the changed distribution of Boolean functions between vertices of the NK automaton and the changed notion of the state of the NK automaton. Experiments were conducted with an ensemble of 3500 modified NK automata, consisting of 10, 30, 50, 75 and 100 vertices, with a value of  $K$  from 2 to 5. As an example, the results of an experiment for a modified NK automaton of 30 vertices are given.

*Conclusions.* It is established that the modified NK automata are the apparatus for modeling of the special, close to chaos period of the multiagent specialized systems operation.

**Keywords:** multi-agent system, rational agent, Kaufmann NK-automaton, synergetics, chaos period.

Организационно-технические системы специального назначения – искусственные системы, объединяющие организационные, технические, управленческие, методические подсистемы, функционирующие в силовых структурах или в предметных областях, близких к ним [1]. Обозначим через  $S$  многоагентную организационно-техническую систему, где агенты  $a$  являются рациональными интеллектуальными агентами в слабом смысле, т.е. агентами, которые обладают свойствами автономности, реактивности, общественного поведения (способность функционировать в сообществе с другими агентами) и про-активностью (способностью генерировать цели и достигать их). Определение рационального агента со временем уточняется и обобщается [2–8]. В качестве агентов  $a$  из множества  $A$  будем рассматривать людей – должностных лиц или людей, управляющих техническим устройством. Агенты  $a$  действуют в контуре системы  $S$ , т.е. агенты  $a$  принадлежат системе, но в силу их важности мы выделяем их в отдельное множество (но не в подсистему)  $A$ . Так как рассматриваемые системы могут быть разделены на подсистемы, важно отметить, что сами агенты из-за сложности ментальных свойств человека и организации технических устройств также являются подсистемами, но для нас – подсистемами, не делящимися на другие подсистемы и ограничивающими рассматриваемый класс систем снизу. Одной из важных подсистем, входящей в контур системы  $S$ , является подсистема управления (ПУ). Среду, в которой функционирует система  $S$ , обозначим через  $C$ . Через  $S(t)$ ,  $C(t)$ ,  $a(t)$  или  $A(t)$  будем обозначать состояния системы, среды, агента или всех агентов в момент времени  $t$ . ПУ имеет возможность сканировать состояние системы и среды через подсистему наблюдения. Таким образом, ПУ известны состояния  $S'(t)$ ,  $C'(t)$ ,  $A'(t)$ , которые отличаются от истинных состояний  $S(t)$ ,  $C(t)$ ,  $A(t)$ . Чем больше полнота и точность данных, получаемых от подсистемы наблюдения, тем меньше погрешности  $p(S'(t), S(t))$ ,  $p(C'(t), C(t))$ ,  $p(A'(t), A(t))$ , где  $p$  –

мера близости. Организационно-технические системы создаются ради достижения ими некоторой цели  $P_S$ . Конечная цель  $P_S$  известна ПУ. Агенты, входящие в ПУ, т.е. лица, принимающие решение, исходя из цели  $P_S$  и состояний  $S(t)$ ,  $C(t)$ ,  $A(t)$  определяют цели  $P_a$  агентам  $a$  или подсистемам, куда входят агенты, но пути достижения целей  $P_a$  агенты определяют сами – имеет место мягкое управление агентами. Для систем  $S$ , близких к системам силовых структур, можно рассматривать агентов двух типов. В таких системах имеются две ПУ. Второй тип агентов имеет свою ПУ, но цели, состояние ПУ и самих агентов, а также состояние подсистемы, куда входят агенты второго типа, неизвестны или известны, но с очень большой погрешностью.

Системы рассматриваемого класса создаются для функционирования в трех периодах. Назовем их *обычный*, *переходный* и *особый периоды* функционирования. Они отличаются различным горизонтом прогноза. Если в обычном периоде горизонт прогноза достаточен для построения моделей функционирования системы и определения через заданное время состояний  $S(t)$ ,  $C(t)$ ,  $A(t)$ , то в особом периоде он чрезвычайно мал. Например, для систем Министерства по чрезвычайным ситуациям обычный период – это период отсутствия чрезвычайной ситуации. В нем происходят накопление необходимых ресурсов, обучение агентов, имитации чрезвычайных ситуаций. Особый период – это период реальной чрезвычайной ситуации. По сравнению с обычным периодом он скоротечен, требует привлечения больших ресурсов и организации спасательных работ.

Чем характеризуется особый период? Количество параметров и переменных, требуемых для учета их в моделях функционирования системы  $S$ , резко увеличивается, а полнота и точность информации в ПУ, приходящей из подсистемы наблюдения, резко уменьшаются. Имеют место ситуации, когда благодаря незначительной неточности или отсутствию ранее не учтенного параметра возникают непредвидимые состояния  $S(t)$ ,  $C(t)$ ,  $A(t)$ , что не позволяет агентам достичь цели  $P_a$ , а системе – цели  $P_S$ . Такое состояние системы и внешней среды в работах [9, 10] определено как состояние хаоса. Состояние хаоса не является необычным состоянием. Находящаяся в этом состоянии система в конце концов достигает устойчивого состояния – аттрактора. Для рассматриваемых систем – это успешное достижение цели  $P_S$  в рамках особого периода и затем наступление первого периода функционирования. Моделирование функционирования систем и прогнозирование их состояния в период хаоса затруднены, имеют свою специфику, но возможны. Таким образом, изучение функционирования и прогнозирование состояния рассматриваемых систем  $S$  требуют создания и использования некоторого математического и имитационного аппарата моделирования состояния хаоса.

В работах [9–13] в рамках синергетических исследований показано, что динамика сложных систем и, следовательно, наступление состояния хаоса могут быть описаны несложными нелинейными уравнениями.

Более подробно рассмотрим алгоритм функционирования рассматриваемых систем  $S$ .

После получения задачи достижения цели  $P_S$  ПУ анализирует текущие состояния  $S(t)$ ,  $C(t)$ ,  $A(t)$ , определяет цели  $P_a$  и распределяет задачи достижения целей по агентам  $a$ . Агенты  $a$ , исходя из состояния подсистемы  $S_a$ , куда входит агент, среды  $C_a$ , влияющей на агента, своего состояния  $a(t)$ , состояния

других агентов, определяет алгоритм достижения цели  $P_a$  и пытается его реализовать. Исходя из реализуемого алгоритма агент осуществляет выбор одного из возможных действий агента и реализацию действия, что, возможно, приближает к достижению цели  $P_a$ . Это оказывает влияние на состояние системы, среды, агентов. Аналогично поступают другие агенты. С учетом действия других агентов, изменяющих значения  $S_a(t), C_a(t), a(t)$ , для агента  $a$  возникает новая ситуация  $S_a(t+1), C_a(t+1), a(t+1)$ , которая вновь анализируется, после чего уточняется алгоритм достижения цели и осуществляется следующий шаг алгоритма. Для ПУ траектория изменения состояний всей системы и среды на интервале  $[t_0, t_n]$  выглядит как

$$(S(t_0), C(t_0), A(t_0)), (S(t_1), C(t_1), A(t_1)), \dots, (S(t_n), C(t_n), A(t_n))), \quad (1)$$

а для агента –

$$(S_a(t_0), C_a(t_0), a(t_0)), (S_a(t_1), C_a(t_1), a(t_1)), \dots, (S_a(t_n), C_a(t_n), a(t_n))), \quad (2)$$

где время  $t_n$  – это предполагаемое время достижения цели.

Как было отмечено, выбранные действия агентов из  $A$  определяют новую ситуацию  $S(t_{i+1}), C(t_{i+1}), A(t_{i+1})$ , которая возникает из ситуации  $S(t_i), C(t_i), A(t_i)$  в результате реализации выбранных действий всех агентов. Кроме того, существуют возможные ситуации, которые могли быть, если бы агенты выбрали другие возможные действия. Ситуация  $S(t_{i+1}), C(t_{i+1}),$

$A(t_{i+1})$  – одна из возможных ситуаций из числа  $\prod_{j=1}^M d_j(t_i)$ , где  $M$  – число

агентов;  $d_j(t_i)$  – число доступных для реализации действий агента  $j$  в текущей ситуации во время  $t_i$ . Ситуации, отличные от  $S(t_{i+1}), C(t_{i+1}), A(t_{i+1})$ , могли быть, но не возникли вследствие того, что агенты реализовали лишь одно конкретное действие из возможных. Таким образом, теоретически траектория достижения цели (1) при конкретных действиях агентов может быть представлена в качестве пути на ориентированном графе, включающем все возможные действия агентов и состояния  $S(t), C(t), A(t)$ , теоретически потому, что количество возможных, но нереализованных действий может быть достаточно большим (можно сравнить с действиями всего лишь двух соперников в шахматной игре). Если изменение обобщенных состояний при большом количестве агентов (например, движение толпы) и части среды, мало зависящей от действий агентов, можно формализовать уравнением, то формализовать выбор действий для нескольких агентов и их последствия затруднительно. Выбор действия агентов, обладающих своим менталитетом и опытом, в период неполной и неточной информации может быть непредсказуем. То есть описание хаоса нелинейным уравнением в нашем случае может быть не совсем адекватно реальности [1, 14].

В работах [15, 16] для моделирования состояния хаоса была предложена булева  $NK$ -сеть, или  $NK$ -автомат Кауфмана.  $NK$ -автомат Кауфмана состоит из  $N$  элементов (вершин). Каждый элемент имеет не более  $K$  входов или входных дуг, соединяющих вершину с другими  $K$  вершинами. Вершина может быть активна и принимает значение 1 или пассивна – значение 0. Каждой

вершине  $NK$ -автомата соответствует некоторая булева функция, которая определяет динамическое поведение вершины, т.е. ее активность или пассивность. Булева функция вершины является логическим правилом переключения. Обозначим последовательность состояний входных вершин для вершины  $i$  через  $y_i = (r_1, r_2, \dots, r_K)$ , где  $r_j$  может принимать значение 0 или 1. У каждой вершины на входе может быть не более  $2^K$  вариантов значений  $y_i$ . Булева функция определяет, какие значения  $y_i$  переводят вершину  $i$  в активное состояние. Все элементы  $NK$ -автомата срабатывают одновременно. Состояние всего  $NK$ -автомата определяется значением  $Y = (r_1, r_2, \dots, r_N)$ , т.е. последовательностью, каждый элемент которой отражает активность или пассивность вершины  $NK$ -автомата. Если  $Y^0$  – это начальное распределение активности вершин  $NK$ -автомата, то состояние  $NK$ -автомата будет изменяться по траектории  $Y^0, Y^1, Y^2$  и т.д. Так как количество вершин на протяжении работы  $NK$ -автомата не изменяется и является конечным, то количество состояний  $NK$ -автомата также конечно. Это означает, что последовательность смены состояний  $NK$ -автомата должна войти в повторяющийся цикл:

$$\exists T : Y^{T+i} = Y^i, i \leq T, t \in (0, 1, 2, \dots, \infty). \quad (3)$$

Повторяющиеся последовательности или предельные циклы, в которые попадает  $NK$ -автомат, рассматриваются в качестве аттракторов. Переход к хаосу моделируется долгим недостижением аттрактора. Например, при достаточном увеличении значений  $N$  и  $K$ , несмотря на обязательное выполнение (3), в процессе функционирования  $NK$ -автомата на разумном интервале времени  $[t_0, t^*]$  значение  $T$  может быть недостижимо, т.е.  $T > t^*$ . Кауфманом было определено, что  $NK$ -автомат сохраняет свои основные свойства при изменении начальной активности  $Y^0$ , связей между вершинами, булевых функций. Основные свойства  $NK$ -автомата определяются значениями  $N$  и  $K$ : при  $K = 1$  поведение можно рассматривать как упорядоченное, при  $K = 2$  – как неустойчивое на границе хаоса (длина циклов незначительна), при  $K = 3$  поведение  $NK$ -автомата изменяется – длина циклов резко увеличивается, т.е. можно наблюдать наступление состояния хаоса.

Впервые  $NK$ -автоматы были использованы в рамках исследований биологической эволюции в качестве модели, регулирующей генетические системы в живых клетках. Тем не менее  $NK$ -автомат можно рассматривать как основу аппарата моделирования для сложных систем, чьи изменения состояний представимы в виде ориентированных графов. Как всякая основа  $NK$ -автомат не может удовлетворять всем требованиям, предъявляемым в рамках тех или иных исследований, и требует расширения правил своего создания и функционирования [17, 18].

Рассмотрим самые общие необходимые изменения.

Если руководствоваться, на наш взгляд, самым общим определением системы [19, 20], то система – это единство первичных элементов, построенное по заданным отношениям с наложенными на них ограничениями.  $NK$ -автоматы полностью удовлетворяют такому определению. При вхождении в период хаоса система должна терять свою устойчивость. Следуя [20], под устойчивостью будем понимать свойство системы совпадать по своим признакам до и после изменений, вызванных некоторыми факторами. Со-

гласно определению системы признаки системы характеризуют первичные элементы, отношения между ними и законы композиции, ограничивающие отношения. Таким образом, перечисленные признаки должны быть отражены в модифицируемой булевой сети.

Перечень необходимых изменений:

1. Так как первичными элементами *NK*-автомата являются вершины сети, которые обладают свойством находиться всего лишь в двух состояниях (активная, пассивная вершина), необходимо ввести дополнительные характеристики, способные изменяться или оставаться без изменения в процессе функционирования *NK*-автомата (например, ввести дополнительные типы вершин и им соответствующие свойства), а также расширить понятие состояния *NK*-автомата.

2. Отношения между первичными элементами *NK*-автомата определяются дугами, связывающими вершины. Для изменения этих признаков необходимо ввести операции по изменению структуры *NK*-автомата, например, операции удаления, добавления дуг, вершин, объединения нескольких *NK*-автоматов и т.д.

3. Изменения 1 и 2 приводят к изменениям законов композиции: необходимо ввести ограничения на связи с помощью дуг между различными типами вершин, например, рассматривать дуги нескольких типов; дать возможность изменения значений *N* и *K* в процессе функционирования *NK*-автомата.

4. Так как мы рассматриваем динамические системы, необходимо ввести аналог времени и последствия его изменения.

Выше были приведены самые общие дополнительные свойства и ограничения, которые могут ускорить или замедлить наступление аналога хаоса в рассматриваемой булевой сети. Необходимо понимать, что реализация всех приведенных изменений может привести к тому, что модифицируемый *NK*-автомат потеряет свои самые ценные качества: простоту и прозрачность функционирования. Дополнение к свойствам и ограничениям зависит от конкретных исследований, в которых будет использоваться булева сеть.

Приведем результаты работы с модифицированным *NK*-автоматом.

*NK*-автомат был модифицирован следующим образом. Каждой вершине соответствовала одна из двух булевых функций: *AND* или *OR*. Функция *AND* допускала активность вершины только в случае активности всех входных вершин. Для активности вершины с функцией *OR* было достаточно иметь хотя бы одну активную входную вершину. Такое свойство моделировало свойства устойчивости вершины к изменениям активности. Вершина с функцией *AND* устойчива, а с функцией *OR* – неустойчива. Так как для каждой вершины имеется  $2^K$  возможных вариантов распределения активности среди входных вершин, выбор из всего лишь двух функций, с одной стороны, обеднял возможности *NK*-автомата, а с другой – упрощал работу с ним.

Так как свойства вершин первичных элементов системы могут изменяться со временем, была задействована возможность изменения их после каждого такта работы *NK*-автомата. Был введен процент изменения булевых функций для каждого нового состояния *NK*-автомата –  $U_b$ . Каждому состоянию сети  $Y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$  соответствовало только одно распределение булевых функций среди вершин. Состояние модифицированного *NK*-автомата

после каждого такта определялось как  $Y_M^t = (Y^t, B^t)$ , где  $B = (b_1, b_2, \dots, b_N)$ , где  $b_i$  – функции *AND* или *OR*:

$$Y_M^t = (r_1^t, r_2^t, \dots, r_N^t, b_1^t, b_2^t, \dots, b_N^t). \quad (4)$$

Работа *NK*-автомата завершалась после наступления цикла, т.е. когда находились два состояния  $Y_M^t, Y_M^T, t \neq T$ , для которых выполнялось условие

$$Y_M^t = Y_M^T. \quad (5)$$

Выполнения условия (5) было достаточно для наступления цикла, так как в этом случае, начиная с  $Y_M^T$ , происходит повторение состояний:

$$Y_M^{t+1} = Y_M^{T+1}, Y_M^{t+2} = Y_M^{T+2}, Y_M^{t+3} = Y_M^{T+3}, \dots \quad (6)$$

После завершения работы *NK*-автомата могло происходить повторение его работы в зависимости от заданного числа повторений  $U_r$ .

Для анализа условия (5) был введен процент совпадения состояний  $U_{NK}$ , где  $U_{NK} \leq 100$ . Состояния считались совпавшими, если для любых  $N \times U_{NK} / 100$  вершин совпадали значения активности и булевы функции, т.е. в (4) вместо  $N$  бралось  $Z = N \times U_{NK} / 100$ ,  $Y_M' = (r_1, r_2, \dots, r_Z, b_1, b_2, \dots, b_Z)$ . По-

нятно, что в этом случае длина цикла уменьшалась, так как при совпадении состояний  $Y_M^t, Y_M^T$  состояния  $Y_M^t, Y_M^T$  могли не совпадать, потому что  $Z \leq N$ .

В процессе работы *NK*-автомата разрешалось принудительное незначительное изменение активности вершин. Процент изменения –  $U_a$ .

Модифицированный *NK*-автомат создавался следующим образом. Перед началом работы *NK*-автомата фиксировались значения  $N$  и  $K$ . Вероятностным образом среди вершин распределялись булевы функции и активность вершин, задавались связи между вершинами (дуги). Запрещались изолированные вершины и вершины, замкнутые на себя петлей, т.е. имеющие дуги, одновременно являющиеся для вершины входными и выходными. Определялись процент совпадения активности вершин для определения совпадения состояний сети ( $U_{NK}$ ), количество повторений работы *NK*-автомата ( $U_r$ ), выяснялось, необходимо ли принудительное изменение активности вершин и булевых функций после каждого такта работы *NK*-автомата: если да, то проценты этих изменений ( $U_a, U_b$ ). Кроме того, задавались требования к необходимости перед началом каждого повторения работы *NK*-автомата нового задания: активности вершин, распределения булевых функций, связей между вершинами.

Таким образом, основными изменениями в экспериментах с модифицированным *NK*-автоматом являлись изменение распределения булевых функций после каждого такта работы *NK*-автомата, новое понимание состояния *NK*-автомата  $Y_M$ . Это соответствует пункту 1 в перечне изменений для модифицируемого *NK*-автомата, представленном ранее.

Проводились эксперименты с модифицированными *NK*-автоматами, состоящими из 10, 30, 50, 75 и 100 вершин, при значении  $K$  от 2 до 5. Рас-

сматривался ансамбль из 3500 НК-автоматов, т.е.  $U_r = 3500$  при новом задании активности вершин, распределении булевых функций, связей между вершинами перед началом каждого повторения.

В табл. 1 в качестве примера приведены результаты для ансамбля из 3500 НК-автоматов при  $N = 30$ ,  $U_a = 0$ ,  $U_b = 100$ .

Таблица 1

Результаты работы НК-автоматов

| Число входных дуг $K$ | Процент совпадений $U_{NK}$ | Длина среднего цикла | Мода циклов | Максимальная длина цикла |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------|-------------|--------------------------|
| 2                     | 100                         | 2,91                 | 22,08       | 411                      |
| 2                     | 95                          | 6,87                 | 14,22       | 248                      |
| 3                     | 100                         | 2503,89              | 2854,30     | 53561                    |
| 4                     | 95                          | 932,10               | 381,78      | 4759                     |
| 5                     | 95                          | 937,61               | 407,75      | 5241                     |

Резкое изменение в длине цикла происходило при  $K = 3$ . Для НК-автомата с  $N = 30$  наблюдалось неожиданное уменьшение длин среднего цикла для  $K > 3$ , но в других экспериментах для  $N > 30$  наблюдалось не уменьшение, а стабилизация этого свойства. Тем не менее даже при  $N = 30$  величина среднего цикла при  $K = 4$  и  $K = 5$  резко увеличивалась по сравнению с  $K = 2$ . Уменьшение значения  $U_{NK}$  до 95 % не изменяло этого свойства модифицированного НК-автомата.

Проведенные эксперименты показали, что основное свойство НК-автомата повторяется для модифицированного НК-автомата. Для НК-автомата начиная с  $K = 3$  наблюдается возникновение аналога хаоса – резкое увеличение длины цикла состояний автомата.

Было установлено, что модифицированные НК-автоматы являются аппаратом моделирования особого, близкого к хаосу периода функционирования многоагентных специализированных систем, для которых смена состояний, вызванная деятельностью рациональных интеллектуальных в слабом смысле агентов, может быть представлена в виде ориентированного графа.

#### Библиографический список

1. **Бабич, М. Ю.** К вопросу интеллектуализации специальных организационно-технических систем / М. Ю. Бабич // Вопросы радиоэлектроники. – 2017. – № 12. – С. 6–12.
2. **Рассел, С.** Искусственный интеллект. Современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – М. : Вильямс, 2006. – 1048 с.
3. **Городецкий, В. И.** Многоагентные системы (обзор) / В. И. Городецкий, М. С. Грушинский, А. В. Хабалов // Новости искусственного интеллекта. – 1998. – № 2. – С. 64–116.
4. **Тарасов, В. Б.** От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В. Б. Тарасов. – М. : УРСС, 2002. – 352 с.
5. **Михеенкова, М. А.** Об одном подходе к распознаванию рациональности в коллективах агентов / М. А. Михеенкова, В. К. Финн // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2010. – № 2. – С. 22–32.



6. Википедия. Интеллектуальный агент. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/интеллектуальный\\_агент](https://ru.wikipedia.org/wiki/интеллектуальный_агент) (дата обращения: 01.02.2018).
7. Имитационная модель обнаружения нарушителей границы охраняемой области / М. Ю. Бабич, В. С. Ковалева, Е. Э. Нисенбаум, Н. В. Ползунов, С. А. Рыбин // Вопросы радиоэлектроники. – 2008. – № 5. – С. 112–120.
8. **Виноградов, Г. П.** Моделирование поведения агента с учетом субъективных представлений о ситуации выбора / Г. П. Виноградов, В. Н. Кузнецов // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2011. – № 3. – С. 58–72.
9. **Капица, С. П.** Синергетика и прогнозы будущего / С. П. Капица, С. П. Курдюмов, Г. Г. Малинецкий. – М. : Едиториал УРСС, 2003. – 288 с.
10. **Князева, Е. Н.** Основания синергетики. Синергетическое мировоззрение / Е. Н. Князева, С. П. Курдюмов. – М. : Либерком, 2014. – 256 с.
11. **Хакен, Г.** Синергетика / Г. Хакен. – М. : Мир, 1979. – 388 с.
12. **Малинецкий, Г. Г.** Математические основы синергетики: хаос, структуры, вычислительный эксперимент / Г. Г. Малинецкий. – М. : Либерком, 2015. – 310 с.
13. **Чернавский, Д. С.** Синергетика и информация: динамическая теория информации / Д. С. Чернавский. – М. : Либерком, 2015. – 276 с.
14. **Бабич, М. Ю.** Нерешаемые задачи интеллектуальной поддержки управления многоагентными организационно-техническими системами / М. Ю. Бабич // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Сер.: Технические науки. Информатика, вычислительная техника и управление. – 2017. – № 4 (38). – С. 71–78.
15. **Kauffman, S. A.** The Origin of Order: Self-Organization and Selection in Evolution / S. A. Kauffman. – New York ; Oxford : Oxford University Press, 1993. – 710 p.
16. **Кауфман, С. А.** Антихаос и приспособление / С. А. Кауфман // В мире науки. – 1991. – № 10. – С. 58–65.
17. **Данилова, О. Т.** Аппараты Кауфмана как циклические генераторы заранее заданных команд / О. Т. Данилова, Р. Т. Файзуллин // Математические структуры и моделирование. – 2004. – Вып. 13. – С. 132–134.
18. **Кольчугина, Е. А.** Исследование свойств цифровых организмов с помощью НК-подобных автоматов / Е. А. Кольчугина // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2011. – № 11. – С. 20–24.
19. **Урманцев, Ю. А.** Общая теория систем: состояние, приложения и перспективы развития / Ю. А. Урманцев // Система. Симметрия. Гармония. – М. : Мысль, 1988. – С. 38–124.
20. **Артюхов, В. В.** Общая теория систем: самоорганизация, устойчивость, разнообразие, кризисы / В. В. Артюхов. – М. : Либерком, 2009. – 224 с.

### References

1. Babich M. Yu. *Voprosy radioelektroniki* [Issues of radio electronics]. 2017, no. 12, pp. 6–12.
2. Rassel S., Norvig P. *Iskusstvennyy intellekt. Sovremennyy podkhod* [Artificial intelligence. A modern approach]. Moscow: Vil'yams, 2006, 1048 p.
3. Gorodetskiy V. I., Grushinskiy M. S., Khabalov A. V. *Novosti iskusstvennogo intellekta* [Artificial intelligence news]. 1998, no. 2, pp. 64–116.
4. Tarasov V. B. *Ot mnogoagentnykh sistem k intellektual'nym organizatsiyam: filosofiya, psikhologiya, informatika* [From multi-agent systems to intelligent organizations: philosophy, psychology, informatics]. Moscow: URSS, 2002, 352 p.
5. Mikheenkova M. A., Finn V. K. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy* [Artificial intelligence and decision making]. 2010, no. 2, pp. 22–32.
6. *Vikipediya. Intellektual'nyy agent* [Wikipedia. Artificial intelligence]. Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/интеллектуальный\\_агент](https://ru.wikipedia.org/wiki/интеллектуальный_агент) (accessed Febr. 01, 2018).

7. Babich M. Yu., Kovaleva V. S., Nisenbaum E. E., Polzunov N. V., Rybin S. A. *Vo-prosy radioelektroniki* [Issues of radio electronics]. 2008, no. 5, pp. 112–120.
8. Vinogradov G. P., Kuznetsov V. N. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy* [Artificial intelligence and decision making]. 2011, no. 3, pp. 58–72.
9. Kapitsa S. P., Kurdyumov S. P., Malinetskiy G. G. *Sinergetika i prognozy budushchego* [Synergy and forecasting of future]. Moscow: Editorial URSS, 2003, 288 p.
10. Knyazeva E. N., Kurdyumov S. P. *Osnovaniya sinergetiki. Sinergeticheskoe mirovozzrenie* [Foundations of synergy. Synergetic world outlook]. Moscow: Liberkom, 2014, 256 p.
11. Khaken G. *Sinergetika* [Synergy]. Moscow: Mir, 1979, 388 p.
12. Malinetskiy G. G. *Matematicheskie osnovy sinergetiki: khaos, struktury, vychislitel'nyy eksperiment* [Mathematical foundations of synergy: chaos, structures, computational experiment]. Moscow: Liberkom, 2015, 310 p.
13. Chernavskiy D. S. *Sinergetika i informatsiya: dinamicheskaya teoriya informatsii* [Synergy and information: the dynamic theory of information]. Moscow: Liberkom, 2015, 276 p.
14. Babich M. Yu. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plus. Ser.: Tekhnicheskie nauki. Informatika, vychislitel'naya tekhnika i upravlenie* [The XXI century: results of the past and problems of the future plus. Series: Engineering sciences. Informatics, computing technology and control]. 2017, no. 4 (38), pp. 71–78.
15. Kauffman S. A. *The Origin of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*. New York; Oxford: Oxford University Press, 1993, 710 p.
16. Kaufman S. A. *V mire nauki* [ ]. 1991, no. 10, pp. 58–65.
17. Danilova O. T., Fayzullin R. T. *Matematicheskie struktury i modelirovanie* [Mathematical structures and simulation]. 2004, iss. 13, pp. 132–134.
18. Kol'chugina E. A. *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologiy* [Bulletin of computer and information technologies]. 2011, no. 11, pp. 20–24.
19. Urmantsev Yu. A. *Sistema. Simmetriya. Garmoniya* [System. Symmetry. Harmony]. Moscow: Mysl', 1988, pp. 38–124.
20. Artyukhov V. V. *Obshchaya teoriya sistem: samoorganizatsiya, ustoychivost', razno-obrazie, krizisy* [General theory of systems: self-organization, stability, diversity, crises]. Moscow: Liberkom, 2009, 224 p.

---

**Бабич Михаил Юрьевич**

доктор технических наук, доцент,  
главный специалист отделения,  
Научно-производственное  
предприятие «Рубин» (Россия,  
г. Пенза, ул. Байдукова, 2)

E-mail: babichmj@mail.ru

**Babich Mikhail Yur'evich**

Doctor of engineering sciences, associate  
professor, department main specialist,  
Research and Production Enterprise  
«Rubin» (2 Baydukova street,  
Penza, Russia)

**Бабич Андрей Михайлович**

кандидат технических наук, инженер-  
программист, Научно-производственное  
предприятие «Рубин» (Россия, г. Пенза,  
ул. Байдукова, 2)

E-mail: fieryeye@yandex.ru

**Babich Andrey Mikhaylovich**

Candidate of engineering sciences,  
software engineer, Research  
and Production Enterprise «Rubin»  
(2 Baydukova street, Penza, Russia)

УДК 05.13.00

**Бабич, М. Ю.**

**Аппарат моделирования особого периода функционирования многоагентных специализированных систем** / М. Ю. Бабич, А. М. Бабич // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2018. – № 4 (48). – С. 17–27. – DOI 10.21685/2072-3059-2018-4-2.