

УДК681.513.8

**САМООРГАНИЗАЦИЯ, РАЗВИТИЕ И СМЕРТНОСТЬ
МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ
ЗАЩИТА ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННОМ ТУМАНЕ**

Конявский В.А., Лихтенштейн В.Е., Росс Г.В.

Аннотация

В статье показано, что способность к самоорганизации является характерным и не переменным свойством мультиагентных систем (МАС), рассмотрены условия, при которых самоорганизация приводит к самоусложнению структуры МАС (развитию), раскрыты закономерности функционирования МАС, которые неуклонно снижают надежность производимой агентами информации, потере способности к самоорганизации и хаотизации. Образно говоря, обнаружен ген смерти МАС. Предложены подходы применения МАС для защиты данных в «информационном тумане».

Ключевые слова

Мультиагентная система, информационный коллапс, самоорганизация, развитие, хаос, равновесный случайный процесс, эволюционно-симулятивный метод, защита информации, «информационный туман».

Konyavsky V. A., Lichtenstein V. E., Ross, G. V.

**SELF-ORGANIZATION, DEVELOPMENT AND MORTALITY
MULTI-AGENT SYSTEMS
DATA PROTECTION IN THE INFORMATION FOG**

Abstract

The article shows that the ability to self-organization is a characteristic and inevitable property of multi-agent systems (MAS), considered the conditions under which self-assembly leads to structures spontaneous complication MAS (development), revealed regularities of the functioning of MAS, which inevitably reduce the reliability of the information which produced by agents, loss of the capacity for self-organization and chaos. Figuratively speaking, found the gene of death of the MAS. The proposed approaches to use the MAS to protect the data in the "information fog".

Keywords

Multi-agent system, the collapse, self-organization, development, chaos, the equilibrium stochastic process, evolutionary-simulation methodology, information security, "information mist".

I. Самоорганизация и развитие МАС.

Разработка и применение мультиагентных систем (МАС) имеет очень короткую по историческим меркам, историю, но уже стало широкой, разветвленной сферой научно-практической деятельности. МАС применяются почти во всех областях экономики (управление предприятиями, принятие решений, логистика и др.), в технике (электрические сети, киберпространство, искусственный интеллект и др.), для предсказания аварийных ситуаций и пр. Опубликованы примеры и обзоры успешных приложений МАС.¹ При этом, мы согласны, что «Технология многоагентных систем, хотя и насчитывает уже более чем десятилетнюю историю своего активного развития, находится в настоящее время еще в стадии становления. ... В частности, при формализации ментальных понятий полностью игнорируются все разработанные в искусственном интеллекте подходы для работы с плохо структурируемыми понятиями, не вполне определенными понятиями, методы, которые базируются на вероятности и нечеткости. Представляется, что это обширное, новое и чистое поле деятельности для соответствующих специалистов.»²

На сегодняшний день не имеют удовлетворительных и общепринятых определений даже сами понятия «агент» и МАС. Большинство известных определений понятия «агент» опираются на признаки наличия искусственного или естественного интеллекта. «В частности, стратегия разработки искусственных агентов, изложенная в IBM WhitePaper, исходит из этой идеи «персонального ассистента», причем агентом считается любая программная или аппаратная система, способная действовать в интересах достижения целей, поставленных пользователем.»³ При этом, распространено мнение, что МАС это просто «совокупность нескольких агентов»⁴ или «.. система, образованная несколькими взаимодействующими интеллектуальными агентами».⁵ В таком случае МАС как целое не имеет никаких специфических свойств, никаких признаков, которых нет у

¹ - Скобелев П.О. Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений //Дис. д-ра техн. наук, 05.13.01, Самара, 2003.

- Городецкий В.И. Самоорганизация и многоагентные системы// Известия РАН «Теория и системы управления».- 2012. – №2, №3.

- Белоусов А.А. и др. Сетевая мультиагентная система для адаптивного управления железнодорожным движением в реальном времени. // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014, 16-19 июня 2014, г.Москва, ИПУ РАН, 2014 г., С. 8912-8924

Другие источники даны в [1]

² Мультиагентные системы <http://www.aiportal.ru/articles/multiagent-systems/3/>

³ Мультиагентные системы <http://www.aiportal.ru/articles/multiagent-systems/3/>

⁴ Мультиагентные платформы и их размещение в сетевых задачах. <http://stud24.ru/programming-computer/multiagentnye-platformy-i-ih-primeneniye/508867-2111691-page4.html>

⁵ https://ru.wikipedia.org/wiki/Многоагентная_система

отдельного агента. Иначе говоря, МАС не обладает эмерджентностью. Но это значит, что МАС вообще нет, что она не может быть предметом научного исследования! А что, собственно, исследовать, если предмет исследования нельзя выделить из среды?

Разными авторами высказывается мнение, что «В многоагентных системах может проявляться самоорганизация и сложное поведение даже если стратегия поведения каждого агента достаточно проста.»⁶ С этим мнением мы не просто согласны, но считаем, что именно самоорганизация является тем обязательным свойством, которое и служит неперенным признаком МАС. Если так, то для определения МАС надо установить признаки самоорганизации и, что самое главное, сформулировать необходимый и достаточный набор условий, при которых механизм самоорганизации работоспособен. Это может стать основой для более полных и точных, как говорят в математике, строгих определений, систематизации накопленных знаний и построения теории МАС.

Минимальный набор базовых характеристик агента «... включает:

- Активность, способность к организации и реализации действий.
- Реактивность, способность воспринимать состояние среды.
- Автономность, относительная независимость от окружающей среды или наличие некоторой «свободы воли», обуславливающей собственное поведение, которое должно иметь хорошее ресурсное обеспечение.
- Общительность, вытекающая из необходимости решать свои задачи совместно с другими агентами и обеспечиваемая развитыми протоколами коммуникации.
- Целенаправленность, предполагающая наличие собственных источников мотивации, а в более широком плане, особых интенциональных характеристик.»⁷, а признаками самоорганизации принято считать способность МАС к:
 - «... поддержанию и изменению организации системы без явного внешнего управления во время ее работы.»⁸ и «... не существует агента-супервизора, управляющего взаимодействием других агентов»;⁹
 - «... образованию *диссипативных структур* – стационарных распределений значений переменных, обладающих устойчивостью к возмущениям.»;¹⁰

⁶ https://ru.wikipedia.org/wiki/Многоагентная_система

⁷ Мультиагентные системы <http://www.aiportal.ru/articles/multiagent-systems/3/>

⁸ Жевнерчук Д.В. Моделирование процессов самоорганизации распределенных пространственно-временных ресурсов. Информационные технологии. Вестник Нижегородского университета им. Н.И.Лобачевского № 2(1), 2014, стр. 218 - 222

⁹ Мультиагентные системы <http://www.aiportal.ru/articles/multiagent-systems/3/>

- снижению энтропии системы.¹¹

Из истории математики известно, что требования к строгости определений и доказательств основываются на построении подходящих примеров и контрпримеров, причем, как правило, мысленных.¹² Обращаясь к понятиям «агент» и «самоорганизация», мы прибегнем к этому способу, имея при этом, ввиду, что агенты и МАС могут быть не только искусственного (программно-аппаратные средства, роботы), но и естественного происхождения: популяции клеток, живые организмы, биоценозы, муравейники, пчелиные семьи, экономические системы и др. Проверим признаки самоорганизации и требования к агентам на характерных примерах.

Рассмотрим группу незнакомых людей, которые идут по берегу реки и замечают тонущего человека. Все хотят помочь: кто-то бросается в воду, кто-то звонит спасателям, кто-то из своей рубашки делает веревку, кто-то держась за один ее конец входит в воду, кто-то держит другой ее конец, и т.д. Очевидно, что эта группа людей образует МАС, так как отдельный человек обладает всеми признаками агента, а группа в целом явно самоорганизуется.

Другой пример, иллюстрирует отсутствие самоорганизации при наличии организации – это когда генерал вызывает подчиненных и каждому ставит задачу. Здесь генерал играет роль агента-супервизора, то есть нарушается 1-й признак. Из этих примеров видно, что все 3 признака самоорганизации необходимы и взаимно дополнительные: снижение энтропии означает повышение организованности (ведь до того, как группа людей заметила утопающего организованность была нулевой, а когда они стали взаимодействовать для спасения - повысилась); устойчивость к воздействиям внешних условий (диссипативность) проявляется в том, что те, кто спасает утопающего не разбегутся, пока не спасут!

При самоорганизации согласованное поведение агентов возникает как бы "из воздуха", в случайно складывающейся ситуации, спонтанно, в заранее не предвиденный момент времени. Тут мы имеем дело с возникновением порядка из хаоса. Обратимся теперь к примерам, показывающим, во-первых, что перечисленные свойства агентов: активность, реактивность, автономность,

¹⁰ Бурцев М.С. Исследование новых топос самоорганизации и возникновения поведенческих стратегий. <http://www.keldysh.ru/pages/mrbur-web/diss/diss.htm>

¹¹ Шеромов Л.А. Теория самоорганизации и управление социальными системами <http://www.bogdinst.ru/works/sheromov2010.pdf>

¹² - Лакатос И. Доказательства и опровержения. Как доказываются теоремы. М.: Наука, 1967 - <http://www.bourabai.kz/dm/logic/txt10.htm>

общительность и целенаправленность - необходимы, но недостаточны и, во-вторых, что самоорганизация не тождественна возникновению порядка из хаоса. К названным свойствам агентов следует еще добавить способность воздействовать на среду, случайность среды и потребность друг в друге. Кроме того, из примеров видно, что диссипативность тоже не равнозначна самоорганизации.

Металлическая стружка под действием магнита собирается в определенную структуру. Ясно, однако, что появление этой структуры не есть результат взаимодействия стружек, а отражение силовых линий магнитного поля. Неспособность стружек к самоорганизации является следствием их пассивности. Активность агента, в свою очередь, связана с другими его свойствами: автономностью и целенаправленностью, которые позволяют реализовывать активность: составлять персональный план и его выполнять. Проявление активности есть выполнение своего плана, для чего необходима реактивность, то есть восприимчивость к внешним случайным воздействиям и способность влиять на среду. Если нет случайной среды, если все абсолютно предсказуемо, то централизованное управление будет более эффективно и самоорганизация становится просто не нужной. Способность влиять на среду является следствием открытости, не замкнутости агента и, одновременно, необходимым условием достижения цели.

Расположение стружек по линиям магнитного поля наглядно демонстрирует возникновение порядка из хаоса, которое происходит не в результате самоорганизации. Точно также ячейки Бенара,¹³ лазеры, реакция Белоусова — Жаботинского¹⁴ являются примерами диссипативных структур возникающих из хаоса, но не в результате самоорганизации: молекулы и атомы не обладают свойствами агента.

Общительность агентов – это не только способность агентов в обмене информацией, но и потребность в этом обмене: агенты должны нуждаться в продуктах жизнедеятельности друг друга. Одинокий волк не нуждается в стае.

Система, в которой агенты могут учитывать планы и интересы других агентов, делают самоорганизацию бесконечно гибкой, адаптивной и, одновременно, предполагает решение целого комплекса проблем. «Среди них следует выделить

¹³ «Ячейки Бенара или Рэлея — Бенара — возникновение упорядоченности в виде конвективных ячеек в форме цилиндрических валов или правильных шестигранных структур в слое вязкой жидкости с вертикальным градиентом температуры, то есть равномерно подогреваемой снизу.»
https://ru.wikipedia.org/wiki/Ячейки_Бенара

¹⁴ https://ru.wikipedia.org/wiki/Диссипативная_система

такие проблемы, как формирование совместных планов действий, возможность учета интересов компаньонов агента, синхронизация совместных действий, наличие конфликтующих целей, наличие конкуренции за совместные ресурсы, организацию переговоров о совместных действиях, распознавание необходимости кооперации, выбор подходящего партнера, обучение поведению в коллективе, декомпозиция задач и разделение обязанностей, правила поведения в коллективе, совместные обязательства и т.д.»¹⁵

«Главные преимущества от кооперации агентов таковы:

- возможность совместного решения задачи, которую нельзя решить в одиночку;
- повышение эффективности и производительности каждого агента;
- увеличение качества общего решения за счет роста числа и более детальной проработки частных решений, обмена информацией между агентами;
- увеличение вероятности того, что решение будет найдено, благодаря объединению различных точек зрения, и пр.»¹⁶

При этом, для самоорганизации принципиально важно, что «Грубо говоря, один объект программы вызвать другой, как в объектном программировании, уже не сможет. Он может другого только «попросить» что-то сделать, а тот, глядя на свои цели, текущее состояние, планы, предпочтения и ограничения, ответит, может он выполнить эту просьбу или нет. В итоге в МАС решение вырабатывается итерационно в результате взаимодействий таких агентов, идущих на уступки друг другу во имя общей цели.»,¹⁷ что в конечном итоге приводит к оптимальности по Парето.

Информационный обмен агентов превращают МАС в распределенный интеллект, который «... определяются тремя основными характеристиками:

- способ распределения задач между агентами;
- способ распределения властных полномочий;
- способ коммуникации агентов.»¹⁸

Наше краткое рассмотрение не претендует на полноту решения задачи установления необходимых и достаточных свойств самоорганизации, но указывает способ движения в этом направлении. Вместе с тем, уже на этой стадии исследований очевидна неразрывная связь самоорганизации и развития,

¹⁵ Мультиагентные системы <http://www.aiportal.ru/articles/multiagent-systems/3/>

¹⁶ Мультиагентные системы <http://www.aiportal.ru/articles/multiagent-systems/3/>

¹⁷ Организация мыслящего роя <http://sdelano-u-nas.livejournal.com/7396552.html>

¹⁸ Мультиагентные системы <http://www.aiportal.ru/articles/multiagent-systems/3/>

то есть процесса поэтапного, закономерного самопроизвольного самоусложнения структуры МАС: на 1-м этапе взаимодействие между агентами носит случайный характер; на 2-м этапе агенты специализируются и обмены приобретают регулярный характер; на 3-м этапе в результате самообучения агентов они начинают специализироваться с учетом стабильных связей; на 4-м этапе возникает механизм саморегуляции пропорций обмена и происходит кластеризация агентов и т.д. В [6] нами было показано, что развитие происходит в эволюционирующих популяциях, между элементами которых происходит обмен. В частности, на ранних этапах возможна эволюция без обмена, в том числе информационного, а на последующих этапах обмен становится необходимым. Эволюция, по-видимому, является единственно возможным процессом, который способен преобразовывать агенты и наделять их свойствами, необходимыми для самоорганизации. Каждый этап развития создает условия, которые определяют подходящие способы самоорганизации, а самоорганизация, в свою очередь, является способом осуществления достигнутых результатов развития.

Моделирование развития имеет значение не только для изучения биологических и экономических МАС. На этой основе, в частности, могут создаваться технологии автоматизированного расширения функциональности технических МАС.

II. Информационный коллапс и смертность МАС.

Под коллапсом принято понимать разрушение системы по внутренним причинам. Например, в медицине коллапсом называют резкое падение кровяного давления; транспортным коллапсом (дорожным затором) называют ситуацию, при которой любое нарушение движения приводит к почти полной его остановке; гравитационным коллапсом называют быстрое сжатие массивного тела (крупной звезды).¹⁹ «Информационный коллапс - состояние сетевого информационного пространства, угрожающее его стабильности и нормальному функционированию. Информационный коллапс характеризуется резким снижением пропускной способности каналов связи и возникает при ситуации, когда существующие технологии не в состоянии передать нарастающие объемы трафика.»²⁰

Термину «информационный коллапс» можно придать также и другой смысл. Голый король, которому льстят придворные, слышит обильные словоизлияния о красоте его одежд, но в этих словах нет достоверной информации. Это пример

¹⁹ <https://ru.wikipedia.org/wiki/Коллапс>

²⁰ http://dic.academic.ru/dic.nsf/fin_enc/23473

идеализированной ситуации, когда большой поток информации (много слов) не содержит достоверной (ценной) информации. Нетрудно привести и практические примеры подобной ситуации. Цены на товары несут информацию, которая определяют поведение экономических агентов, но она достоверна только отчасти: цены искажены финансовыми пузырями, лживой рекламой, монопольными надбавками. В технических системах передаваемая информация, как правило, зашумлена и для выделения полезной части из шума применяют специальные средства. Этим же занимаются спецслужбы, разведка, поисковые системы и др. Эти примеры показывают, что информация, которую приносит информационные потоки, полезной является лишь отчасти. Долю, которую составляет полезная информация в общем количестве информации, мы будем называть надежностью и обозначим P^0 . Строгое определение P^0 мы дадим в дальнейшем изложении, но уже теперь на основе P^0 мы можем дать следующее определение: информационный коллапс – это состояние системы с настолько низким значением P^0 , что функционирование системы невозможно. Согласно этому определению у голого короля информационный коллапс, у него $P^0 = 0$, поэтому он и не может управлять своим королевством. Это, конечно, внутренняя проблема королевства и, одновременно, состояние абсолютного хаоса (см. главу 5 в [5]).

Для МАС обмен информацией между агентами является обязательным. В этом смысле любую МАС можно назвать информационной системой и в соответствии с данным выше определением распространить на нее понятие информационного коллапса. Более того, нами установлено, и это будет показано в дальнейшем изложении, что законы функционирования МАС приводят к неуклонному снижению P^0 и поэтому информационный коллапс является неизбежным концом существования любой МАС. Это значит также, что информационный коллапс, в отличие от других причин гибели МАС (например, техническую систему можно просто «выдернуть из розетки»), при достаточно длительном функционировании является фатальным.

Мы отмечали, что активность, с одной стороны, является необходимым свойством агента МАС и, с другой стороны, предполагает способность агента планировать свое поведение. Мы отмечали также, что агент находится в случайной среде. Это сочетание означает, что функционирование агента относится к категории равновесных случайных процессов. По определению «Равновесный случайный процесс (РСП)» - процесс, траектория которого в фазовом пространстве определяется сочетанием случайных факторов и

управляющих воздействий, направление и сила которых определяется размером и направлением отклонения фактической траектории процесса от сглаженной.» ([3], стр. 53) Универсальной методологией математического моделирования РСП является Эволюционно-симулятивная методология. Мы рассмотрим структурную формулировку эволюционно-симулятивной модели (ЭСМ) агента, которая не зависит от его физической природы. Вместе с тем, чтобы при формулировке модели можно было апеллировать к содержательному смыслу входящих в нее величин и соотношений, мы обратимся к конкретному примеру, а именно, рассмотрим экономическую систему, и возьмем в качестве агента фирму. Имея ЭСМ, мы сможем затем прокомментировать другие возможные содержательные интерпретации входящих в ЭСМ величин, обратившись к характерным примерам: муравейнику и техническим системам.

Случайная среда, в которой находится агент, - это совокупность случайных факторов, которые определяют условия функционирования агента. На работу фирмы, которая поставляет товар на рынок, влияет погода, информационные вбросы, доходы покупателей, их предпочтения и др. Будем считать, что каждый фактор можно представить в виде скалярной случайной величины $f_i, i = 1, \dots, I$, где I общее количество учитываемых факторов, а $\bar{f} = (f_1, \dots, f_I)$ - случайный вектор. Обозначим через PL планируемое значение интегральной характеристики плана. В частности, фирма составляет маркетинговый план продаж. Основной характеристикой этого плана является объем продаж PL . Особенность PL в том, что будучи установлен вначале планового периода, он далее не меняется. Это, конечно, не значит, что за плановый период не могут произойти непредвиденные события, которые заставят на ходу пересматривать принятый план. Но PL обозначает первоначальные намерения. Обозначим платежеспособный спрос через Fa . PL - детерминированная, а Fa - случайная величина с общей областью значений. Fa зависит от факторов $\bar{f} = (f_1, \dots, f_I)$, а также от некоторых условно постоянных величин $p_j, j = 1, \dots, J$. В экономике это ставки налогов, нормы расхода материалов, в МАС другой природы - физические константы, технические параметры оборудования, жизненные параметры организма и т.п. Обозначим через $\bar{p} = (p_1, \dots, p_J)$ - вектор исходных показателей. Имитационную модель, которая при известных реализациях случайных величин $f_i, i = 1, \dots, I$ (реализации мы отмечаем верхним индексом «e») позволяет рассчитать реализацию Fa ,

обозначим ρ . Таким образом: $Fa^e = \rho(\overline{f^e}, \overline{p})$. Возможна одна из двух ситуаций: либо $PL > Fa^e$, либо $PL < Fa^e$. Если $PL > Fa^e$ то, значит, план был завышен, его не удалось выполнить полностью, и возникли издержки. Например, фирма запланировала поставить на рынок $PL = 100$ изделий, а сумела по факту продать только $Fa^e = 80$. Лишние 20 штук пришлось где-то хранить, они частично испортились. Суммарную величину этих издержек обозначим $\Psi_1(PL, Fa^e)$. Ситуация $PL < Fa^e$ означает, что план был занижен. В этом случае также возникают издержки, но иного рода – упущенная прибыль. Если при плане $PL = 100$ выяснилось, что можно было продать $Fa^e = 130$, то упущенная прибыль будет от не проданных 30 изделий. Обозначим ее $\Psi_2(PL, Fa^e)$. Риском завышения мы называем математическое ожидание издержек завышения $M\{\Psi_1(PL, Fa)\}$, а риском занижения – математическое ожидание издержек занижения $M\{\Psi_2(PL, Fa)\}$.

Эволюционно-симулятивная модель (1) – (4) определяет оптимальный маркетинговый план PL :

$$Fa^e = \rho(\overline{f^e}, \overline{p}) \quad (1)$$

$$\Psi_1(PL, Fa^e) = \rho_1(PL, Fa^e, \overline{f^e}, \overline{p}), \text{ если } PL > Fa^e \quad (2)$$

$$\Psi_2(PL, Fa^e) = \rho_2(PL, Fa^e, \overline{f^e}, \overline{p}), \text{ если } PL < Fa^e \quad (3)$$

$$\min_{PL} \left\{ \max_{L \in \{1;2\}} \left\{ M \left\{ \Psi_L(PL, Fa_L) \right\} \right\} \right\} \quad (4)$$

С PL взаимно однозначно связан показатель $P^0 = p(PL \geq Fa)$. Далее под надежностью информации, которую несет показатель PL , мы будем понимать величину, определяемую формулой $P^0 = p(PL \geq Fa)$. Например, в экономике надежность выражает вероятность, что товар в объеме PL будет реализован, по установленной цене C . P^0 одновременно выражает информационную достоверность цены товара C , то есть выражает вероятность, что по цене C товар можно продать объеме PL .

Еще одним показателем, взаимно однозначно, связанным с PL является показатель $3/3 = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{M\{\Psi_1(PL + \Delta, Fa)\} - M\{\Psi_1(PL, Fa)\}}{M\{\Psi_2(PL, Fa)\} - M\{\Psi_2(PL + \Delta, Fa)\}}$, который выражает отношение риска завышения и риска занижения в окрестности оптимума. Показатели $\{PL, P^0, 3/3\}$ называются основными характеристиками РСР.

В линейном приближении ЭСМ (1) – (4) можно переписать в виде:

$$Fa^e = k_0 + \sum_i f_i^e k_i \quad (5)$$

$$\Psi_1(PL, Fa^e) = S(PL - Fa^e), \text{ если } PL > Fa^e \quad (6)$$

$$\Psi_2(PL, Fa^e) = (C - S)(Fa^e - PL), \text{ если } PL < Fa^e \quad (7)$$

$$\min_{PL} \left\{ \max_{L \in \{1,2\}} \left\{ M\{\Psi_L(PL, Fa_L)\} \right\} \right\} \quad (8)$$

где S – себестоимость, C – цена товара, $k_i, i = 0, \dots, I$ – весовые коэффициенты. При

этом: $3/3 = \frac{S}{C - S}$, $Z = \frac{C - S}{S} = \frac{1}{3/3}$ – средняя удельная доходность; $D = Z * P^0$ –

средняя удельная доходность с учетом риска, $K = C * PL$ – капитализация.

Обратимся теперь к МАС другой природы. Пусть это будет муравейник. Есть ли у муравья план и осознает ли он свои риски? Задавая этот вопрос, мы не интересуемся наличием у муравья интеллекта. Нас интересует только целесообразность его поведения. Совершенно очевидно, что целесообразность есть! Если бы у муравья не было цели и плана ее достижения, то перемещения муравьев были бы хаотичны как «броуновское движение». Муравей либо ищет еду, либо материалы для строительства и с этой точки зрения действует целесообразно: направляется в том или ином направлении в соответствии с выбранной целью. Одним из способов самоорганизации муравейника является так называемая роевая самоорганизация, в которой выделяют 3 стадии: на 1-ой стадии муравьи (агенты) случайно блуждают в поисках пищи. Здесь планирование – это ограничение области поиска в зависимости от физического состояния муравья и окружающей обстановки. Риск завышения, при этом, состоит в том, что если муравей слишком расширит область поиска, то он может заблудиться и умереть от голода. Если же муравей сузит область поиска, то скорее всего ничего не найдет, что и является риском занижения. На 2-ой стадии, когда один из муравьев, находит пищу, он помечает место и обратный путь к муравейнику с

помощью химической субстанции, называемой феромоном. При этом, есть варианты по количеству выделяемого феромона и его распределению по пути движения. Выбор этого варианта тоже планирование. Риск завышения, при этом, состоит в невозможности пометить всю траекторию, если феромон расходовать нерационально, а риск занижения – растрчивать силы на ношение излишних запасов феромона. 3-я стадия состоит в том, что другие муравьи привлекаются запахом феромона и выбирают путь, помеченный им, с вероятностью, пропорциональной интенсивности запаха феромона. В этом случае, план – найти запах феромона и следовать по нему. Поиск запаха подобен поиску пищи и связан с тем же способом планирования. Так что, каждый муравей имеет свой план, свои ресурсы для его выполнения, свои возможности для реализации плана и при стремлении выполнить план каждый сталкивается со своими случайными препятствиями: лежащими на пути травинками, углублениями и возвышениями почвы, ручейками и др.

Если в роли агента выступает аппаратно-программный комплекс, то информация может играть роль как потребляемого ресурса, так и продукта деятельности агента. План действий может быть как достаточно детальным, составляемым путем решения сложной математической задачи, так и примитивно простым, например, состоять всего лишь в выборе одного из двух значений некоего параметра. Может быть даже, что этот выбор осуществляет человек (оператор). В таком случае человек оказывается составной частью агента в составе МАС.

При разработке ЭСМ агента той или иной конкретной МАС смысл величин PL , D и K , разумеется, требуют уточнений и это, в свою очередь, может потребовать специальных, иногда трудоемких исследований. Тем не менее, не вызывает никаких сомнений, что это всегда может быть сделано для МАС любой природы.

Для выявления закономерностей функционирования МАС можно ограничиться линейным приближением ЭСМ агента, представленным соотношениями (5) – (8). Закономерности являются прямыми следствиями доказанных теорем (см. главу 3 в [3] или [4]).

Доказано 9 теорем. 1-ая, основная теорема теории РСР, устанавливает, что равновесие рисков завышения и занижения является обобщением равновесия спроса и предложения. Другие теоремы устанавливают следующее. Согласно теоремы 2, параметры агента, значения которых формируются в результате взаимодействия с другими агентами в краткосрочном периоде могут

рассчитываться самим агентом на основе планирования. В экономике это значит, что рыночные объемы и цены на короткий период могут заменяться плановыми. Теорема 3 утверждает, что K возрастает у тех агентов, где больше D за счет тех, у которых D меньше (капитал перетекает от хозяйствующих субъектов с меньшей средней удельной доходностью с учетом риска к тем, у которых она больше). Согласно теореме 4 в однородной совокупности агентов, у которых изначально одинаковы PL , $3/3$, P^0 , D и K неизбежно происходит разделение агентов по значениям этих величин. Теорема 5 определяет условия, при которых автоколебания параметров могут неограниченно возрастать (система идет в разнос). Теорема 6 утверждает, что возможны условия, при которых влияние некоторых агентов оказывается пренебрежимо малыми. Теоремы 7 – 9 показывают, что любое неограниченное по времени внешнее вмешательство в функционирование МАС приводит к ее разрушению.

Из выше названных теорем следует, что если мы возьмем МАС любой природы в исходном состоянии, в котором все агенты абсолютно одинаковы (то есть у них совпадают PL , $3/3$, P^0 , D и K) и предоставим этой МАС возможность функционировать без всякого внешнего вмешательства, то будет происходить следующее:

- возникнет разделение агентов по величинам D и K ;
- величина K начнет возрастать у тех агентов, где D больше за счет тех, где D меньше;
- темпы этих изменений будут пропорциональны разности значений D у агентов, при этом, D и K будут монотонно возрастать;
- величины PL , P^0 , D и K будут возрастать и убывать совместно;
- названные тенденции будут продолжаться неограниченно.

Это означает, что критерий оптимальности: $D \rightarrow \max$ станет тотальным, поскольку на него будет вынужден ориентироваться каждый агент МАС, и глобальным, поскольку на него же будет ориентироваться МАС в целом, а также, что в МАС не существует механизмов, способных приостановить или повернуть вспять происходящие процессы. Поэтому в пределе МАС приходит в состояние, характеризующееся следующими показателями:

- появится один агент, у которого PL , K и D имеют максимально возможные значения, а P^0 приближается к 1;
- у всех остальных агентов PL , K и D имеют минимально возможные значения, а P^0 приближается к 0;

- дальнейшие изменения показателей приостанавливаются.

Смысл этого состояния МАС особенно нагляден на примере экономической системы. То, что у одного хозяйствующего субъекта PL , K и D максимальны означает следующее: данный агент поставляет на рынок такое количество товара PL , которое достижимо на его производственных мощностях; он владеет всем доступным капиталом K ; все его операции имеют максимально возможную доходность D ; успех любой его сделки гарантирован ($P^0 = 1$). У всех остальных ХС все наоборот: они почти ничего не поставляют на рынок (PL минимально), они почти не владеют капиталом (K минимально), все их операции имеют минимально возможную доходность D , а каждая их сделка гарантировано неудачна ($P^0 = 0$).

Мы уже отмечали, что показатель P^0 характеризует надежность информации, которой владеет агент. То, что у всех агентов, кроме одного, $P^0 = 0$ означает, что никто не владеет никакой информацией. Это и есть состояние хаоса. Поскольку в рассматриваемой нами МАС, каждый агент владеет ограниченной информацией, касающейся в основном собственных операций агента, то агент, который владеет абсолютно достоверной информацией, не имеет ничего, чтобы он мог сообщить другим агентам, даже если бы в МАС существовали альтруистические мотивы передачи информации. Так что он тоже не в состоянии вывести МАС из хаоса.

Полученные результаты позволяют сделать несколько выводов. По-видимому, информационный коллапс, к которому закономерно приходит МАС, является одним из механизмов смертности живых существ и экономических систем. То, что некоторые организмы могут существовать вечно (сосна Бристлекон, моллюск Мин, кораллы, медуза и др.)²¹ может означать одно из двух: либо в них как-то замораживаются процессы самоорганизации, либо предусмотрен механизм частичной или полной замены самоорганизации централизованным управлением. Например, в принципе, возможно, что в геном каждой клетки «вечного» организма заложено, что если клетка овладела максимально достоверной информацией (P^0 близко 1), то в ней включаются определенные механизмы управления другими клетками, а если достоверность информации стала минимальной (P^0 близко 0), то включаются механизмы добровольного подчинения любому агенту, который захочет ею управлять. Именно в переходе от координации к подчинению и состоит смысл замены самоорганизации централизованным управлением. В таком случае при достижении состояния хаоса МАС целиком или в некоторых локальных зонах становится централизованно управляемой совокупностью агентов, то есть

²¹ <http://zhizninauka.info/topics/zhivye-organizmy-sposobnye-zhit-vechno/>

перестает быть МАС. По-видимому, это возможно только у достаточно просто устроенных организмов, так как долго и успешно централизованно управлять слишком большим количеством достаточно сложно устроенных агентов становится физически невозможно.

Преодоление состояния хаоса (информационного коллапса) в технических и экономических системах возможно только путем внешнего вмешательства. В технических системах эту проблему, как правило, можно решить своевременным перезапуском МАС или периодической ее настройкой. Эти процессы можно, при необходимости, более или менее автоматизировать. В экономических системах необходимо вмешательство государства. Эти вопросы подробно рассмотрены в [5].

III. Защита данных в информационном тумане.

«Смартфоны становятся главными устройствами доступа к ресурсам Интернета. ... Уникальные особенности смартфонов затрудняют их защиту: для обеспечения безопасности хранимой на них конфиденциальной информации нужны новые бизнес-модели, помогающие усилить надежность мобильных устройств.»²²

Смартфоны являются важнейшим компонентом «туманной инфраструктуры», которая кроме смартфонов включает разнообразные носимые, подвижные и стационарные устройства, увязанные в информационные сети. «Модель построения «туманной» инфраструктуры подразумевает, что данные, их обработка и приложения сконцентрированы на конечных устройствах в сети — различных смарт-узлах и датчиках, ПК и мобильных устройствах, — а не отправляются в облако.»²³ Это становится необходимым в силу того, что передача все возрастающего объема данных в облако и обратно затрудняет или делает невозможным принятие решений в реальном масштабе времени. «Туманная» вычислительная среда предполагает, что большая часть обработки данных будет происходить на тех же устройствах, что эти данные собирают. «Администрация президента (АП) направила в Минкомсвязь, Минпромторг, «Ростелеком» и Агентство стратегических инициатив (АСИ) письмо с подписью президента Владимира Путина на тему развития «туманных вычислений»

²² Проблемы безопасности смартфонов // Открытые системы, №1, 2013.
<http://www.osp.ru/os/archive/2013/01/>

²³ Держи туман шире <https://news.mail.ru/society/26296132/?frommail=10>

в России»²⁴ «Тяжело назвать отрасль, в которой использование “туманных вычислений” невозможно. Любое транспортное средство может быть оснащено вычислительным узлом для сбора и анализа данных — например, от систем диагностики, видеонаблюдения. Внутри оборудования на промышленных предприятиях (станки, роботы, двигатели) узлы “туманных вычислений” могут использоваться для сбора информации от различных сенсоров, ее анализа и защищенной передачи результатов в облако» «Развитие fog computing стимулируется активным внедрением решений “интернета вещей”, в каждом из которых применяются вычислительные устройства, объединенные в сеть»²⁵

Для защиты «тумана» требуется принципиальное расширение функциональности систем защиты. В частности, угрозы и атаки на смартфоны затрагивают 3 уровня: приложений, коммуникаций и ресурсов и «... средства безопасности для смартфонов должны быть адаптируемы, чтобы выполнять потребности разных пользовательских групп. ... Понятно, что смартфоны могут сломаться, потеряться и рано или поздно потребуют замены. Таким образом, чтобы оправдать затраты на покупку, должна быть возможность перенести систему безопасности на следующее устройство либо приобрести новую версию по меньшей цене.»²⁶ Имеется также опасность кражи и потери смартфонов и других устройств, ошибок пользователя.

В целом, таким образом, мы имеем проблему информационной защиты неопределенно больших совокупностей различных по составу носимых и связанных с ними автономных устройств, состав и ареал существования которых неконтролируемо меняется. «Защита в тумане» предполагает, что средства защиты должны располагаться на временно свободных местах памяти защищаемых объектов, что они не могут осуществлять полный набор функций по защите, и вынуждены идентифицировать угрозы по признакам с не 100%-ой надежностью. При этом система защиты должна адаптироваться к непредсказуемо меняющимся условиям, иметь достаточную быстроту реакции на угрозы и атаки, быть экономной по затратам энергии, памяти защищаемых устройств и трафику. Таким образом, «защита в тумане» является комплексной проблемой, для решения которой необходимы новые научно-методологические подходы.

²⁴ Держи туман шире <https://news.mail.ru/society/26296132/?frommail=10>

²⁵ Держи туман шире <https://news.mail.ru/society/26296132/?frommail=10>

²⁶ Проблемы безопасности смартфонов // Открытые системы, №1, 2013.
<http://www.osp.ru/os/archive/2013/01/>

Наибольшие успехи применения MAC в настоящее время получены в области управления ресурсами.²⁷ Имеются так же исследования, направленные на разработку способов применения MAC для защиты информации.²⁸ Известны способы управления самоорганизующимися совокупностями телекоммуникационных систем.²⁹ При этом, работоспособность и эффективность систем защиты, основанных на MAC, существенно зависит от вариантов привязки агентов, вариантов разделения агентов на категории и механизмов самоорганизации. Так, например, агенты могут привязываться к объектам и средствам защиты, либо к угрозам и атакам. При выборе способов привязки агентов, а также их внутренней структуры, необходимо учитывать способы реализации доверенной среды [7],³⁰ разделение, либо не разделение команд и данных [8]³¹

В процессе самоорганизации в автоматизированном режиме будет решаться задача управления ресурсами, которыми располагают агенты и MAC в целом. При защите информации эта задача предстает как задача управления распределенными и разнохарактерными средствами идентификации, предупреждения угроз и атак, а также средствами устранения последствий атак, если их не удалось предотвратить. Важнейшими ограниченными ресурсами явятся затраты времени на идентификацию угроз и атак и их нейтрализацию, объем памяти конечных устройств, трафик, затраты энергии.

В «тумане» информация может передаваться как через Интернет, так и без Интернета, например, по радиосвязи или по кабельным сетям. При всех обстоятельствах, информация подвержена внешним потенциальным угрозам от различных нарушителей, пытающихся осуществить несанкционированный доступ для считывания или нарушения функционирования. Кроме того, имеет место человеческий фактор, связанный с возможностью возникновения программных ошибок (недоработка программного обеспечения, неправильное распределение

²⁷ - Скобелев П.О., Майоров И.В. http://www.kg.ru/wp-content/uploads/2016/02/31_ИУМорские-системы_№17_2015_.pdf

- Скобелев П.О. http://www.iki.rssi.ru/seminar/2011030204/presentation/20110303_03.pdf

²⁸ Например: Шниперов А.Н., Сантьев Е.А. Разработка системы защиты информации для гетерогентных информационных систем на основе мультиагентного подхода//Информатика и системы управления, 2014, № 1(39)

²⁹ Конявский В.А., Лихтенштейн В.Е., Росс Г.В. Новый подход к управлению самоорганизующимися, подвижными, динамическими, целенаправленными, иерархическими, распределенными информационно-телекоммуникационными системами. // Информатизация и связь, № 6'2013 Decision-online.ru

³⁰ Конявский В.А. Серебряная пуля для хакера http://www.okbsapr.ru/konyavskiy_2013_5.html

³¹ Конявский В.А. «Новая гарвардская» архитектура – компьютер с «вирусным иммунитетом» <http://elibrary.ru/item.asp?id=24835509>

памяти и т.п.), ошибок оператора. Все перечисленные факторы могут вызвать нарушение нормального хода работы одного или нескольких объектов.

Для информационной защиты объектов «тумана» (или в «тумане») применение МАС может оказаться достаточно универсальным и эффективным. При этом, принципы самоорганизации МАС должны соответствовать условиям «защиты в тумане». Пусть $f_1, f_2, f_3, \dots, f_N$ – набор функций, которые должна осуществлять система защиты. Будем считать, что агент в составе МАС, это программное или программно-аппаратное средство, способное осуществлять некоторые из функций: $f_1, f_2, f_3, \dots, f_N$ таких, например, как: оценка уязвимостей, фильтрация сообщений, блокировка вирусов и др. Основные условия «защиты в тумане» таковы:

- агенты должны располагаться на временно свободных местах памяти защищаемых объектов;
- агент не может осуществлять полный набор функций $f_1, f_2, f_3, \dots, f_N$ так как это потребует слишком много памяти на конкретном объекте и затруднит в случае необходимости оперативное перемещение агента от одного устройства к другому;
- система защиты должна самостоятельно распространять свое действие на новые объекты, присоединяющиеся к «туману»;
- идентификация угроз, то есть установление необходимости выполнения некоторых из функций $f_1, f_2, f_3, \dots, f_N$ на конкретном объекте, осуществляется по признакам и не является абсолютно точной (может быть угроза есть, а может быть ее нет, и это характеризуется числом в интервале $[0, 1]$, которое назовем «вероятность угрозы»);
- система должна защищать не только объекты, составляющие «туман», но и саму себя.

Признаками, на основе которых может оцениваться «вероятность угрозы» на объекте являются: частота обращений, модификация файла или участка памяти, и т.д. Для мониторинга этих признаков могут использоваться как стандартные средства самих объектов, так и специальные программные средства, которые МАС загружает на объект.

Способ самоорганизации, который в наибольшей степени соответствует перечисленным условиям, был нами предложен в [1] и назван способом «барахолки». Этот способ является модификацией рыночного или, что тоже самое, аукционного способа самоорганизации. Аукционный способ состоит в том, что некий аукционист, в роли которого может выступить любой участник,

вывешивает вопрос, наподобие: «Кто может мне помочь?» На это только «способные» отвечают «Я смогу, за такую-то цену». В конечном итоге, устанавливается «соглашение» между аукционистом с одной стороны, и одним из конкурирующих за оказание услуги агентов, с другой. При таком соглашении аукционист получает услугу по минимальной цене. Идеальные условия для рыночного способа самоорганизации создаются на бирже. Это достаточно жесткие условия совершенной конкуренции, включая: однородность услуги (то есть идентичность ее качества, вне зависимости от того, кто из «способных» агентов ее оказывает), отсутствие доминирования среди исполнителей, отсутствие предпочтений у аукциониста и др. Отличие «барахолки» в том, что вопрос: «Кто может мне помочь?» заменяется на другой: «Кому это нужно?» Это значит, что инициатива передается от аукциониста (в случае защиты информации «аукционист» - это объект, находящееся под угрозой) к защитнику, то есть агенту МАС. Кроме того, «барахолка» обладает перед аукционом целым рядом преимуществ:

- во-первых, агент может иметь больше вариантов поведения и большие возможности для планирования поведения, в частности, он может выбирать параметры своего состояния в режиме ожидания, с учетом накопленного опыта (самообучение) (эволюционно-симулятивная модель планирования агентом своего поведения предложена в [1], а способы оптимального управления поведением агента в [3]);

- во-вторых, по указанной причине, барахолка лучше приспособлена к решению задачи поиска того, что заранее точно неизвестно (неизвестно какая именно угроза существует, где она существует и существует ли вообще);

- в-третьих, при этом допускаются координация действий агентов, выполняющих разные функции, в частности, поскольку одни агенты выполняют одну часть функций $f_1, f_2, f_3, \dots, f_N$, другие – другие части, то вместе они способны обеспечить выполнение именно того набора функций, который требуется в конкретной ситуации, в определенный момент времени, на конкретном объекте.

В общих чертах МАС «защиты в тумане» можно описать следующим образом:

1. Агент является мобильным программным средством, способным выполнять как минимум одну из функций $f_1, f_2, f_3, \dots, f_N$.

2. Изначально, набор агентов, которые в совокупности способны выполнять полный набор функций $f_1, f_2, f_3, \dots, f_N$, формируется в аппаратном средстве,

которое недоступно для внешних воздействий («Шипка+») (см. [5, 6, 7, 8, 9]), и которое устанавливается на одно (любое) из устройств «тумана».

3. Каждый агент по построению наделяется набором следующих способностей:

- а) если устройство, на котором расположен агент, связалось с другим устройством, то агент заносит его в свой «список тумана»;
- б) агент может обратиться к любому устройству из «списка тумана» и запросить информацию о:
 - текущем объеме свободной памяти на объекте;
 - имеется ли на этом объекте какой-нибудь агент и, если да, то на каких функциях он специализируется;
 - параметрах функционирования объекта, необходимых для выполнения той функции из списка $f_1, f_2, f_3, \dots, f_N$, на которой специализирован агент;
- в) агент может по запрошенным параметрам рассчитать «вероятность угрозы» на объекте;
- г) если «вероятность угрозы» больше заранее заданного «допустимого уровня угрозы» («допустимый уровень угрозы» - параметр настройки агента, величина в интервале $[0, 1]$, которая задается оператором при установке «Шипки+»), то агент может тем или иным способом обработать свою функцию на объекте;
- д) агент может сообщить другим агентам на любом объекте из «списка тумана», что он отработал свою функцию.

4. Обнаружив объект из «списка тумана», на котором имеется достаточно свободной памяти, агент загружается на этот объект. Если впоследствии на этом объекте возникает потребность в памяти, занятой агентом, – агент стирается. Таким образом, по всему «туману» распространяются и перемещаются агенты, специализирующиеся на выполнении разных функций, охватывая все вновь подключающиеся к «туману» объекты и стираясь на тех объектах, которые из «тумана» выбывают.

5. Если агент получил сообщение от другого агента, что им выполнена функция на некотором объекте, то согласно заложенному в нем алгоритму, устанавливает, нужно ли ему выполнять свою функцию на этом объекте и, при необходимости, выполняет ее.

В целом, таким образом, при обнаружении угрозы, нужные агенты «набрасываются» на объект и выполняют все необходимые функции по его

защите или блокировке. Тем самым обеспечивается защита всех объектов «тумана». Защита MAC может быть обеспечена процедурами самоконтроля и взаимного контроля агентов. Эти процедуры могут выполняться либо эпизодически, либо перед тем, как выполнять функцию на любом объекте. Поврежденные агенты стираются. Так как постоянно происходит загрузка заведомо неповрежденных агентов из «Шипки+», и всегда возможна замена поврежденного агента с одного объекта, неповрежденным с другого, то недостатка в неповрежденных агентах любой специализации не возникает.

Если «допустимый уровень угрозы» установить близко к 0, то система защиты фактически будет выключена, она будет не замечать угрозы и пропускать атаки. Если же установить значение близко к 1, то каждый агент будет реагировать на любой малейший признак угрозы, блокировать работу многих объектов «тумана» и может парализовать функционирование «тумана». Эту величину можно, при необходимости, корректировать на основе самообучения MAC. Возможны способы подбора «допустимых уровней угрозы» для агентов разной специализации в зависимости от возможных негативных последствий угроз определенного типа.

Подобный способ «защиты в тумане» отчасти подобен распространению вирусов, но, по идее, имеет благие цели. Кроме того, «защита в тумане» позволяет управлять «туманом»: запрещать или разрешать выполнение определенных функций устройствами «тумана» и расширять, при необходимости, функциональность объектов «тумана», в том числе, загружать на объекты средства мониторинга параметров объекта, необходимые для оценки агентами «вероятности угрозы».

Самонастраивающиеся агенты для обнаружения вторжения и нейтрализации возможных угроз или атак для увеличения своего быстродействия могут использовать совокупность достаточно простых программных компонентов, которые могут быть легко реконфигурированы. Например, компоненты-сенсоры, сканирующие устройства из «списка тумана» в случае выявления возможных нарушений могут при необходимости собирать дополнительную информацию, для идентификации соответствующей угрозы, анализа и установления факта вторжения. Агент, установивший факт вторжения, сообщает агентам, способным обеспечить нейтрализацию или подавление атаки. В частности, в составе MAC может оказаться целесообразным создание специализированных агентов-сенсоров.

Для создания МАС «защиты тумана» необходимо решить целый ряд научно методических проблем. Одной из таких проблем является минимизация затрат ресурсов на функционирование МАС. Важнейшим ограниченным ресурсом является время. Интеллектуальные функционально-ориентированные агенты должны самостоятельно выбирать время запуска своих подсистем, например, определять интервалы между проверками объектов, интенсивность обмена информацией, устанавливать лимиты затрат времени на проверку достоверности новых источников данных. Во время функционирования агента на объекте, на котором он расположен, может происходить замедление выполнения объектом своих основных функций. Если же сокращать это время, то может существенно снижаться эффективность МАС по защите информации [4].

Общий размер предотвращенного ущерба исключительно за счет самоорганизации (величина синергии) может быть критерием эффективности МАС при защите данных в тумане.

При защите данных в информационном тумане существуют угрозы информационного коллапса и должны быть предусмотрены соответствующие средства защиты от этих угроз.

Литература

1. Конявский В.Л., Росс Г.В., Лихтенштейн В.Е. Разработка мультиагентных систем на основе теории равновесных случайных процессов // Информатизация и связь, № 1'2015
2. Конявский В.Л., Лихтенштейн В.Е., Росс Г.В. Новый подход к управлению самоорганизующимися, подвижными, динамическими, целенаправленными, иерархическими, распределенными информационно-телекоммуникационными системами // Информатизация и связь, № 6'2013.
3. Лихтенштейн В.Е., Росс Г.В. Равновесные случайные процессы: теория, практика, инфобизнес. М.: Финансы и статистика, 2015
4. Лихтенштейн В.Е., Росс Г.В. Математическое доказательство необходимости перемен в экономике // Информатизация и связь, № 1'2013, www.decision-online.ru
5. Авдийский В.И., Безденежных В.М., Лихтенштейн В.Е. Экономическая справедливость и безопасность экономических агентов. М.: Финансы и статистика, 2016
6. Лихтенштейн В.Е., Росс Г.В. Введение в теорию развития. М.: Финансы и статистика, 2011

7. Конявский В.А. Серебряная пуля для хакера

http://www.okbsapr.ru/konyavskiy_2013_5.html

8. Конявский В.А. «Новая гарвардская» архитектура – компьютер с «вирусным иммунитетом» <http://elibrary.ru/item.asp?id=24835509>