

ИМИТАЦИОННОЕ МАКЕТИРОВАНИЕ – НОВЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ РАБОТЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

М.Ю. Бабич, В.Е. Кузнецов (Пенза)

Введение. Постановка задачи

Имитационное моделирование функционирования систем входит в научное направление интеллектуализации систем управления военного назначения. Результаты моделирования дают возможность создавать системы поддержки принятия решений (СППР), предназначенные для лиц, принимающих решения (ЛПР). Актуальность направления интеллектуализации систем не требует дополнительных комментариев. Однако заметим, что при моделировании рассматриваемых систем требуется учитывать наличие НЕ-факторов [1, 2] обрабатываемой информации: неточность, нечеткость, неопределенность, неполнота, некорректность данных и т.д. Причиной НЕ-факторов являются не только технические условия сбора и обработки информации, но и целенаправленные действия противника по их возникновению. Анализируя научные публикации, можно заметить неудовлетворенность авторов (в условиях НЕ-факторов) недостаточной эффективностью существующих методов моделирования или устаревшей триадой принципов принятия решений: «информация → выводы → решение», например [3, 4].

Всего лишь констатация наличия НЕ-факторов, обуславливающих сложность имитационного моделирования, не дает возможности исследовать новые подходы к моделированию управления систем. В чем причина их существования? На наш взгляд, необходимо учитывать, что исследуемые системы военного назначения носят нелинейный характер. В [5] делается вывод, что о возможном наличии состояния хаоса, свойственного нелинейным системам военного назначения, было указано еще в [6]. В современных работах нелинейность систем в условиях применения концепции сетцентризма [7] доказывается более полно [8]. Но если это так, то необходимо принимать во внимание наличие странных аттракторов [9, 10], то есть множество точек притяжения, в которых управляющее воздействие со стороны своих сил/средств или со стороны противника, являющееся причиной незначительных изменений состояния внешней среды, приводит к неожиданному и значительному изменению фазового портрета системы. В этом случае с помощью современных математических методов можно спрогнозировать наличие аттракторов, но не предсказать с требуемой точностью, по какому пути пойдет траектория изменения состояний системы и среды [11].

Сложность использования традиционных методов прогнозирования и управления в условиях неопределенности информации для слабоструктурированных задач была замечена еще задолго до создания теории нелинейных систем в начале-середине 60-х годов XX века. Если рассматривать отечественные работы, то можно выделить два направления: ситуационное управление (Д.А. Пospelов) и ситуационный анализ (Е.М. Примаков). Ситуационное управление было создано для управления автоматизированными системами и является более формализованным [12]. Ситуационный анализ предназначался для анализа международно-политических ситуаций как целостных подсистем в международных отношениях [13, 14]. Развитие этих двух направлений привело к возможности использования накопленного опыта для управления сложными организационно-техническими системами военного назначения, но с учетом их специфики.

Целью работы является анализ применения нового подхода для прогнозирования состояния нелинейных систем военного назначения в зависимости от управляющих воздействий ЛПР, названного методом имитационного макетирования.

Класс систем

Опишем свойства класса систем, для которых используется метод имитационного макетирования.

Предполагается, что управление рассматриваемыми системами происходит благодаря функционированию подсистемы управления (ПУ), в которой находятся ЛПР и внедрены элементы СППР. Так как учитывается концепция сетевидного управления, независимо от трактовки концепции [15, 16] в системах должна быть реализована развитая и важная подсистема сбора, обработки и передачи информации. В общем случае рассматриваются распределенные системы, т.е. средства наблюдения за состоянием систем и среды (датчики, РЛС, оптико-электронные средства и т.д.) должны быть распределены по всему региону. Обозначим средства наблюдения через C_1, C_2, \dots, C_m . Взаимодействие между средствами наблюдения C_i и ПУ реализуется по протоколам информационно-технического взаимодействия.

Системы класса можно рассматривать в качестве сложных многоагентных организационно-технических систем, где функционируют рациональные агенты двух типов: A_1, A_2, \dots, A_{n_1} и B_1, B_2, \dots, B_{n_2} (свой, противник). Каждый агент обладает определенными свойствами и ресурсами, описываемыми параметрами p_j , т.е. $A = A(p_1, p_2, \dots, p_{k_1}), B = B(p_1, p_2, \dots, p_{k_2})$. В зависимости от масштаба задачи агент моделирует деятельность человека или группу людей (взвод, полк), управляющих техническими устройствами, или техническое устройство (например, БПЛА), группу технических устройств.

Обозначим системы класса: систему, оказывающую управляющее воздействие через ПУ на агентов A_i , – через S_a ; систему, оказывающую управляющее воздействие на агентов B_i , – через S_b , состояние систем в момент времени t – через $S(t)$. Аналогично для внешней среды: L и $L(t)$.

Предполагается, что система S_a функционирует по следующей схеме.

Изменение внешней среды, включая состояние агентов противника (точнее, агентов второго типа B_i), фиксируется средствами наблюдения и передается в ПУ. ПУ, используя средства вычислительной техники, обрабатывает информацию. ЛПР принимают решение с помощью или без помощи СППР. Решение в виде приказов передается агентам первого типа (A_i). Агенты первого типа изменяют состояние внешней среды, включая состояние агентов второго типа. В ответ агенты второго типа предпринимают некоторые действия и, в свою очередь, изменяют состояние внешней среды, включая состояние агентов первого типа (рисунок 1).

На рисунке 1 границы ПУ обозначены пунктирными линиями. Очевидно, что агенты B_i руководствуются приказами ПУ системы S_b , но так как ее приказы и методы управления для нас неизвестны, ПУ системы S_b на рисунке 1 не обозначены.

Ситуационное управление и ситуационный анализ

Заметим, что рассматриваются сложные организационно-технические системы. С одной стороны, нельзя полностью отказаться от формализации процессов, так как технические устройства после получения управляющего воздействия работают по хорошо известным математическим формулам: например, влияние ветра на движение летательного объекта проходит в соответствии с имеющей место формализацией процесса. Но, с другой стороны, действия человека вносят большую долю

неопределенности: неожиданное изменение ситуации после получения приказа, ошибки, неустойчивое психологическое состояние.

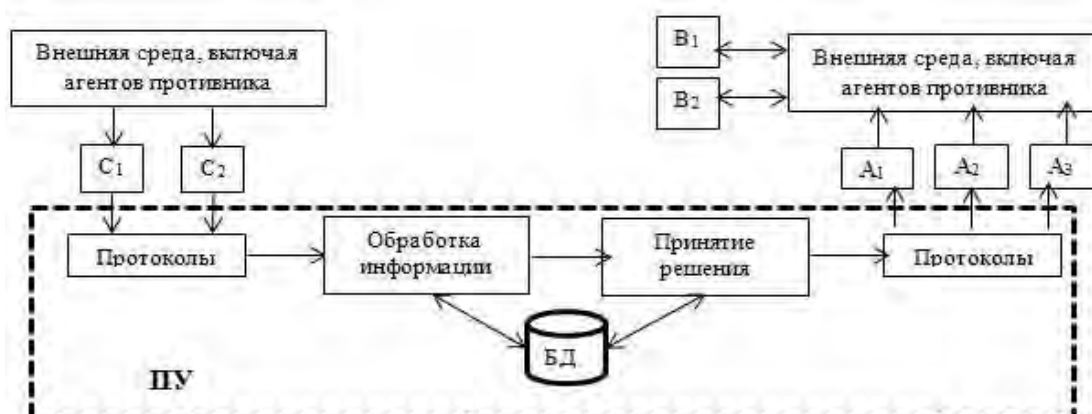


Рис.1 – Схема функционирования системы

Уточним формулу ситуационного управления Д.А. Поспелова [12] для нашего случая. Фазовый портрет системы в наших обозначениях изменяется следующим образом:

$$(S(t_i), L(t_i), U(t_i)) : (S(t_i), L(t_i)) \xrightarrow{u_i} (S(t_{i+1}), L(t_{i+1})), \quad (1)$$

где тройка $(S(t), L(t), U(t))$ – текущая ситуация со знанием способов управления U , т.е. полная ситуация по определению Д.А. Поспелова; двойка $(S(t), L(t))$ – текущая ситуация; u_i – выбранный, если не оптимальный, но устраивающий ЛПР способ управления в момент времени t_i , переводящий текущую ситуацию в $(S(t_{j+1}), L(t_{j+1}))$.

Так как на каждое управляющее воздействие противник отвечает своим, формула (1) может быть представлена в виде итераций

$$(S_a(t_i), L_a(t_i), U_a(t_i)) : (S_a(t_i), L_a(t_i)) \xrightarrow{u_i} (S_a(t_{i+1}), L_a(t_{i+1})), \quad (2)$$

$$(S_b(t_{i+1}), L_b(t_{i+1}), U_b(t_{i+1})) : (S_b(t_{i+1}), L_b(t_{i+1})) \xrightarrow{u_{i+1}} (S_b(t_{i+2}), L_b(t_{i+2})). \quad (3)$$

В (1)–(3) состояние системы S рассматривается вместе с состоянием своих агентов, а состояние среды L – вместе с состоянием агентов противника.

Заметим, что человек успешно справлялся с НЕ-факторами еще задолго до возникновения направления искусственного интеллекта и средств вычислительной техники. Это объясняется тем, что человеческий мозг в сложных ситуациях значительно эффективнее анализирует и выбирает способ управления u_i , чем компьютер [17–21].

В ситуационном анализе [13] вместе с такими неформализованными методами, как мозговая атака, метод Дельфи, кейс-метод, используется сценарирование развития ситуации, т.е. подготавливается сценарий для участвующих в ситуационном анализе экспертов. Положительная сторона ситуационного анализа заключается в том, что направление развития ситуации выбирает не компьютер, а человеческий мозг – эксперт.

Попытаемся методом имитационного макетирования реализовать управление системой человеком, находящимся в почти полной ситуации, т.е. в текущей ситуации с возможными методами управления, но с НЕ-факторами.

Принципы имитационного макетирования

В основу имитационного макетирования легли следующие принципы:

1) программное обеспечение имитационного макетирования имитирует текущую ситуацию, т.е. состояние системы, среды, агентов, в которой управляющее воздействие определяет ЛПР;

2) модель должна учитывать наличие НЕ-факторов;

3) имитационная модель создается не до и не после внедрения средств вычислительной техники и СППР в ПУ системы, а в процессе их создания и внедрения;

4) имитационная модель функционирует вместе с разрабатываемым программным обеспечением (ПО) ПУ, взаимодействует с ним, однако ПО может «не знать» об имитационной модели.

В первом и во втором принципах нет ничего нового. Однако первый принцип делает акцент не на подмене решения ЛПР готовым решением СППР по выбору управляющего воздействия, а на развитии человеческих способностей и интуиции. НЕ-факторы упоминаются во втором принципе, но все ли СППР в настоящее время их учитывают?

Важными являются третий и четвертый принципы.

Третий принцип устанавливает период создания имитационной модели. Если модель разрабатывается во время создания ПО, то ПО разрабатывается в рамках какой-либо ОКР. Как правило, заказчик финансирует только создание изделия, но имитационная модель, в лучшем случае, если она нужна заказчику, оформляется отдельно работой со своими сроками исполнения. Разработка имитационной модели становится инициативной работой исполнителя, и, таким образом, третий принцип подразумевает, что ресурсные затраты исполнителя на создание модели должны быть минимальными.

Согласно четвертому принципу, ПО может «не знать» об имитационной модели, но в тоже время должно взаимодействовать с ней. Как это возможно? Взаимодействие ПО ПУ с окружающим миром, т.е. со средствами наблюдения, агентами, внешней средой, происходит по протоколам информационно-технического взаимодействия. Их ПО «знает». Но если имитация внешнего мира происходит на уровне действующих протоколов, то ПО все равно, кто с ним взаимодействует: распределенные по территории устройства или имитационная модель. Более того, для установки программ системы на объектах заказчика имитационная модель должна быть удалена, но ПО ПУ остается без изменения.

Под макетом программного обеспечения понимается ПО, выполняющее свои основные функции, но нуждающееся в некоторой доработке и уточнении программной документации. Название подхода к моделированию: имитационное макетирование, т.е. имитационная модель, функционирующая вместе с макетами разрабатываемого ПО ПУ.

Заметим, поскольку система распределенная, при таком подходе нарушается замкнутость ПО. Под замкнутостью понимается «самодостаточность» ПО. В случае замкнутости ПО нет необходимости использовать какие-либо дополнительные устройства или программные «заплаты». ПО для каждой системы, если рассматривать его вместе с взаимодействующими программами других систем, всегда проектируется как замкнутое. Операторы вводят разнообразную, но запланированную информацию, происходит ввод данных от других устройств или систем, и ПО работает, выдавая необходимую информацию или запоминая ее в базе данных (БД). Замкнутость может

нарушиться, например, при обучении должностных лиц (ДЛ) работе с созданным ПО. В этом случае необходимо или развертывать всю распределенную систему, что крайне неудобно, или помещать обучающихся и инструкторов в одном помещении, но каким-то образом моделировать взаимодействие с удаленными устройствами, т.е. дописывать или изменять ПО (нарушение замкнутости).

Более подробно принцип замкнутости описан и формализован в [22].

Реализация принципов имитационного макетирования

Прежде всего, определим, что необходимо моделировать.

Так как управляющее воздействие на систему осуществляется через агентов, их деятельность должна быть имитирована. При этом можно предположить, что, если P_a – множество всех параметров, описывающих характеристики и состояние агентов A_i , а P_b – множество всех параметров агентов B_i , то выполняется

$$|(P_a \cap P_b)| \gg |(P_a \cup P_b) \setminus (P_a \cap P_b)|, \quad (4)$$

т.е. количество общих параметров для агентов A_i, B_i значительно больше количества их специфических параметров. Например, скорость передвижения агентов двух типов может значительно отличаться, но это их общий параметр, значение которого определяется для программы, имитирующей деятельность агентов, всего лишь входными данными.

Состояние агентов первого типа изменяется не только по приказу из ПУ, но и благодаря деятельности других агентов (агентов второго типа), влиянию внешней среды и по желанию самих агентов. Изменение внешней среды, включая состояние агентов, фиксируется средствами наблюдения. То есть необходимо имитировать функционирование средств наблюдения, влияние агентов другого типа и создать возможность управления деятельностью агентов человеком – ДЛ из группы подыгрыша. При этом все, что можно имитировать с помощью значения данных протоколов информационно-технического взаимодействия, должно осуществляться через них. Вместо схемы рисунка 1 получаем схему рисунка 2.

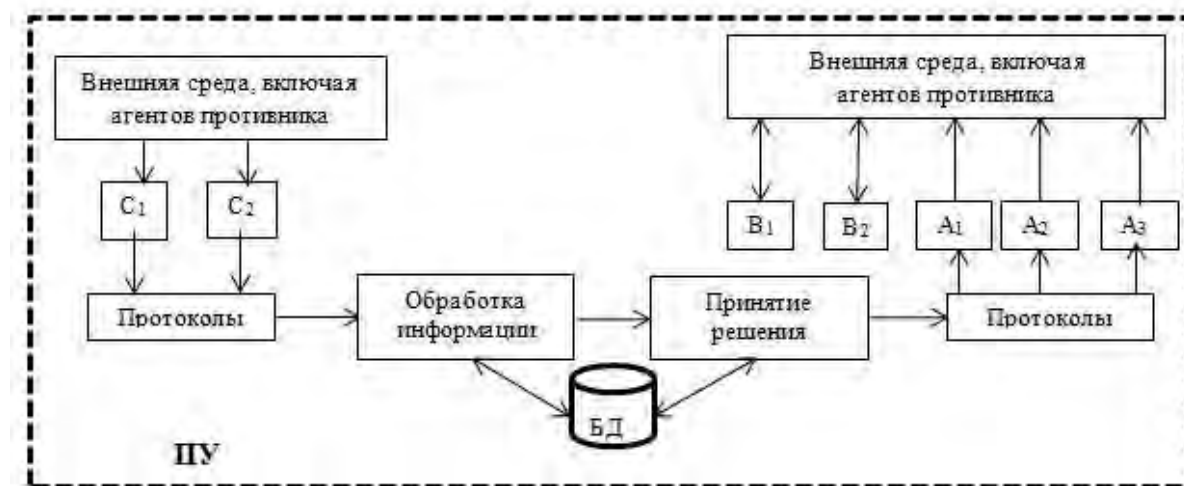


Рис.2 – Схема имитации функционирования системы

Полное формализованное (и потому менее понятное для читателя) описание имитационного макетирования приведено в [22].

Использование имитационного макетирования

Ниже приводятся примеры использования имитационного макетирования в рамках разработанных систем.

Первая система была разработана для охраны разомкнутой или замкнутой границы от проникновения нарушителей. В средства наблюдения входили сейсмические датчики, РЛС, оптико-электронные средства. Пресечение попыток проникновения осуществлялось группой ДЛ, посланных на перехват нарушителей.

Система и ПО ПУ функционировали следующим образом. При обнаружении нарушителей средствами наблюдения их координаты пересылались по протоколам взаимодействия в ПУ. Компьютер оператора осуществлял предупредительный сигнал, а на его электронной карте начинала фиксироваться траектория движения нарушителей, оповещались другие ДЛ. При необходимости осуществлялось совещание ДЛ, поддерживаемое программными средствами ПО. ЛПР принимало решение и доводило приказ до группы перехвата. Все действия фиксировались в электронном журнале. Группа перехвата пыталась пресечь движение нарушителей. Ее координаты передавались с устройств *GPS* на экран оператора. При необходимости ЛПР могло корректировать движение группы перехвата своими командами, передаваемыми по каналам связи.

В процессе создания ПО был дописан ряд программ, не затребованных ТЗ, относящихся к имитационной модели. Одна из программ позволяла с отдельного компьютера ДЛ из группы подыгрыша управлять движениями нарушителей и их скоростями или заранее задавать всю траекторию движения. Также можно было управлять движениями ДЛ из группы перехвата или всей группой. Программа, имитирующая работу средств наблюдения, при обнаружении с заданной вероятностью нарушителей, вошедших в зону наблюдения, передавала их координаты на компьютер оператора по реально действующим протоколам взаимодействия. Аналогично для группы перехвата. Так как были задействованы реальные протоколы взаимодействия, основное ПО ПУ (не относящееся к имитационной модели) обрабатывало все поступившие сообщения, т.е. работало совместно с имитационной моделью, позволяя выполнять все требуемые функции ДЛ ПУ, не входящего в группу подыгрыша. При окружении нарушителей группой перехвата имитация завершалась либо имитировалось силовое столкновение.

Таким образом, реализовывались шаги по итерациям (2), (3), и возникала игровая ситуация между ЛПР в ПУ и ДЛ, управляющим нарушителями. ДЛ, управляющее нарушителями, должно было проникнуть в определенную сценарием зону, а ЛПР, выполняя свои обязанности в соответствии с утвержденными инструкциями работы с ПО ПУ, – предотвратить проникновение.

В подготовленный сценарий имитации могли входить заранее заданные траектории движения нарушителей и группы перехвата, их скорости передвижения (другими словами, средства их передвижения), вероятность обнаружения нарушителей средствами наблюдения, зоны, куда стремились проникнуть нарушители, и т.д. Могло происходить сценирование развития ситуаций: сценарий мог изменяться, разворачиваться по ходу событий, так как была возможность управлять движениями нарушителей и группой перехвата, вступать или не вступать в силовое столкновение.

Наличие НЕ-факторов учитывалось тем, что ДЛ ПУ были не известны намерения нарушителей, их действия и цели. Например, нарушитель мог использовать отвлекающий маневр, чтобы отвлечь группу перехвата от основной группы нарушителей. Траектории движения нарушителей на экране оператора возникали с учетом рельефа местности, т.е. нарушители могли использовать складки местности и стать невидимыми для средства наблюдения и, следовательно, для ЛПР ПУ. Не было известно время начала сценария, и ЛПР располагало только теми ресурсами, которые были у него в момент начала сценария.

Вторая система принципиально отличалась от первой. Она предназначалась для противодействия БПЛА (одиночного или роя). В средства обнаружения БПЛА входили другие взаимодействующие системы и оптико-электронные средства. Существовали три варианта противодействия: уничтожение БПЛА, разрыв связи БПЛА с его ПУ, перехват управления БПЛА. Необходимо было учитывать влияние погодных условий на полет БПЛА. Тем не менее, были соблюдены принципы имитационного макетирования. Многие программы имитационной модели были перенесены из первой во вторую систему. Например, в программу управления БПЛА был внесен всего один дополнительный параметр: движение вверх и вниз.

Выводы

Метод имитационного макетирования дает возможность сочетать хорошо формализуемые процессы с плохо предсказуемыми действиями противника. Он не подменяет решение ЛПР выводом вариантов управляющего воздействия СППР, а использует интуицию и опыт ЛПР, развивает их. Метод можно использовать только в случае, когда у ДЛ ПУ есть время для анализа ситуации, т.е. когда можно воспользоваться имитацией процессов. Метод не отделяет имитационную модель от ПО, которым пользуются ДЛ ПУ в процессе своей работы без имитационной модели.

Понятно, что чем ближе модель к реальности, тем больше она требует материальных затрат на свое создание. Так как имитационная модель создается в процессе разработки ПО ПУ, здесь необходимо найти «золотую середину» между дополнительными затратами и точностью модели.

В работе не обсуждались средства, запоминающие принятое решение, поддерживающие его поиск, дающие оценку решению. Например, метод прецедентов. Однако, как правило, заказчик включает в свои требования наличие в системе аналогичного средства для дальнейшего анализа принятых решений, которое можно использовать и в ходе имитационного исследования.

Литература

1. **Нариньяни А.С.** Не-факторы: краткое введение // Новости искусственного интеллекта. 2004. № 2. – С. 52-63.
2. **Цветков В.Я.** Информационная неопределенность и информационная определенность в науках об информации // Информационные технологии. 2015. Том 21, № 1. – С. 3-7.
3. **Иванушкин С.А., Волкова А.А.** Система принятия решений на основе выходных данных в области технической защиты информации // Военная мысль. 2019. № 10. – С. 56-64.
4. **Масленников О.В., Курочкин В.П., Алиев В.К.** Об информатизации Вооруженных Сил Российской Федерации // Военная мысль. 2019. – № 12. – С. 57-67.
5. **Жирар Р.** Завершить Клаузевица. Беседа с Бенуа Шантром. М.: ББИ, 2019. – 300 с.
6. **Клаузевиц К.** О войне. М.: Государственное военное издательство, 1934. – 692 с.
7. **Макаренко С.И.** Информационное противоборство и радиоэлектронная борьба в сетевых войнах начала XXI века. СПб.: Научно-технологические технологии, 2017. – 546 с.
8. **Арзуманян Р.** Кромка Хаоса. Сложное мышление и сеть: парадигма нелинейности и среда безопасности XXI века. М.: Регнум, 2012. – 600 с.
9. **Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г.** Синергетика и прогнозы будущего. М.: Едиториал УРСС, 2003. – 304 с.

-
10. **Князева Е.Н., Курдюмов С.П.** Основания синергетики. Синергетическое мировоззрение. М.: ЛИБРОКОМ, 2014. – 256 с.
 11. **Майнцер К.** Сложносистемное мышление: материя, разум, человечество. Новый синтез. М.: ЛИБРОКОМ, 2009. – 464 с.
 12. **Поспелов Д.А.** Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. – 288 с.
 13. **Примаков Е.М., Хрусталёв М.А.** Ситуационные анализы. Методика проведения. Очерки текущей политики. Выпуск 1. М.: Научно-образовательный форум по международным отношениям, МГИМО МИД России, 2006. – 28 с.
 14. **Барановский В.Г., Кобринская И.Я., Уткин С.В., Фрумкин Б.Е.** Метод ситуационного анализа как инструмент актуального прогнозирования в условиях трансформации миропорядка // Вестник МГИМО-Университета. 2019. № 12(4). – С. 7-23.
 15. **Ковалёв В.И., Малинецкий Г.Г., Матвиенко Ю.А.** Концепция «сетевидной» войны для армии России: «множитель силы» или ментальная ловушка? // Вестник академии военных наук. 2015. № 1(50). – С. 69-77.
 16. **Ковалёв В.И., Малинецкий Г.Г., Матвиенко Ю.А.** Концепция «сетевидной» войны для армии России: «множитель силы» или ментальная ловушка? // Вестник академии военных наук. 2015. № 2(51). – С. 94-100.
 17. **Пинкер С.** Язык как инстинкт. М.: Едиториал УРСС, 2004. – 464 с.
 18. **Ришар Ж.Ф.** Ментальная активность. Понимание, рассуждение, нахождение решений. М.: Институт психологии РАН, 1998. – 232 с.
 19. **Роуз С.** Устройство памяти: от молекул к сознанию. М.: Мир, 1995. – 384 с.
 20. **Sowa J.F.** Conceptual Structures - Information Processing in Mind and Machines. Addison-Wesley Publ. Comp. 1984. – 614 p.
 21. **Lakoff J.** Women, Fire, and Dangerous Things: What Categories Reveal About the Mind. – University of Chicago Press, 1987. – 614 p.
 22. **Бабич М.Ю., Волков Ю.А., Ползунов Н.В.** Технология применения замкнутого программного обеспечения в процессе создания и эксплуатации систем, находящихся в состоянии конкуренции // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2019. Т.17, №1. – С. 65-74.