

20. Kalousis A., Hilario M. Representational issues in meta-learning. *Proceedings of the XX International Conference on Machine Learning (ICML-03)*. Washington, DC, USA, 2003. pp. 313–320.
21. Orlov A.A. Non-Stationary Time Series Forecasting on Basis of Analysis and Prediction of Forecasting Models Efficiency. *Proc. the IV International Conference on Inductive Modelling (ICIM-2013)*. Kyiv, 2013. pp. 192–199.
22. Gomes T.A.F., Prudencio R.B.C., Soares C. Combining meta-learning and search techniques to select parameters for support vector machines. *Neurocomputing: International Journal*. – Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 2012, vol. 75. Iss. 1. pp. 3–13.
23. Orlov A.A. Printsipy postroeniya arkhitektury programmy platformy dlya realizatsii algoritmov metoda gruppovogo ucheta argumentov (MGUA) [Principles of constructing software framework architecture to implement the algorithms of group method of data handling (GMDH)]. *Upravlyayushchie Sistemy i Mashiny: Mezhdunarodnyi Zhurnal – Control Systems and Computers: International Journal*, 2013, no. 2. pp. 65–71.
24. Makridakis S., Hibon M. M3-Competition. *INSEAD*. Fontainebleau, France, 1999. 41 p. Available at: <http://www.insead.edu/facultyresearch/research/doc.cfm?did=1094> (accessed 23 March 2014).
25. Makridakis S., Hibon M. The M3-Competition: results, conclusions and implications. *International Journal of Forecasting*, 2000, vol. 16, Iss. 4, pp. 451–476.
26. Ivakhnenko A.G. *Induktivnyy metod samoorganizatsii modeley slozhnykh system* [Inductive method of self-organization of models of complex systems]. Kiev, Naukova Dumka, 1982. 296 p.
27. Madala H.R., Ivakhnenko A.G. *Inductive Learning Algorithms for Complex System Modeling*. Boca Raton; Ann Arbor; London; Tokyo, CRC Press, 1994. 368 p.

УДК 004.822, 004.942; 620.9:001.891.57

## ИНТЕГРАЦИЯ СЕМАНТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

**Массель Алексей Геннадьевич,**

канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Института систем энергетики  
им. Л.А. Мелентьева (ИСЭМ) СО РАН,  
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130. E-mail: amassel@gmail.com

**Тюрюмин Вадим Олегович,**

аспирант Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева (ИСЭМ)  
СО РАН Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130.  
E-mail: vadim.tyuryumin@gmail.com

Актуальность работы определяется, с одной стороны, важностью проблем энергетической безопасности и их исследований, с другой – необходимостью развития интеллектуальных инструментальных средств исследований и их интеграции с традиционными математическими моделями.

**Цель работы:** усовершенствование двухуровневой технологии исследований проблем энергетической безопасности за счет интеграции семантических моделей и расширения онтологического пространства знаний о предметной области онтологиями событий.

**Методы исследования:** В предложенной ранее двухуровневой технологии исследований проблем энергетической безопасности на верхнем (первом) уровне выполняется качественный анализ (экспресс-анализ) с применением методов и средств семантического (онтологического, когнитивного и событийного) моделирования, на нижнем (втором) – количественный анализ на основе численных расчетов с использованием традиционных программных комплексов. Когнитивные модели используются для моделирования угроз энергетической безопасности, событийные модели – для моделирования вариантов развития чрезвычайных ситуаций в энергетике. Совместное использование когнитивного и событийного моделирования позволяет получить более объективную оценку ситуации. Вводятся онтологии событий, используемые для перехода от когнитивных к событийным моделям. Рассматривается использование Joiner-сетей для последующего анализа и обработки событийных моделей.

**Результаты:** Предложены правила генерирования онтологий событий. Описан алгоритм автоматизированного перехода от когнитивных карт к событийным моделям на основе онтологий (с использованием онтологий событий) как один из этапов усовершенствования двухуровневой технологии.

Приведены разработанные онтологии, когнитивные и событийные карты и построенная на их основе событийная модель с использованием Joiner-сетей.

### **Ключевые слова:**

Энергетическая безопасность, семантическое моделирование, онтологическое, когнитивное и событийное моделирование, онтологии событий, Joiner-сети.

### **Введение**

В Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН проводятся комплексные исследования, важную роль в которых играют исследования проблем энергетической безопасности.

Энергетическая безопасность (ЭБ) рассматривается как часть национальной безопасности, а именно как защищенность граждан, общества, государства, экономики от угроз дефицита в обеспечении их обоснованных потребностей топливно-энерге-

тическими ресурсами (ТЭР) приемлемого качества [1]. Важными для исследований проблем ЭБ являются понятия чрезвычайной ситуации (ЧС) и угроз ЭБ, под которыми понимаются события, неблагоприятные для энергетики. Анализ развития и последствий ЧС направлен на установление причин возникновения ЧС, характера ее развития и масштаба последствий. Основная сложность проведения таких исследований заключается в их многовариантном характере. Для преодоления этой сложности коллективом, в котором работают авторы (лаборатория Информационных технологий в энергетике ИСЭМ СО РАН, возглавляемая д.т.н. Л.В. Массель), была предложена двухуровневая технология исследований проблем ЭБ, на верхнем (первом) уровне которой выполняется этап качественного анализа (экспресс-анализ) с применением методов и средств семантического (онтологического, когнитивного и событийного) моделирования, а на нижнем (втором) – количественный анализ на основе численных расчетов с использованием традиционных программных комплексов. Это позволяет существенно сократить количество рассматриваемых вариантов проведения вычислительного эксперимента, проводимого на втором уровне, и снизить нагрузку на эксперта [2]. Современное состояние двухуровневой технологии и инструментальных средств ее поддержки подробно рассмотрено в [3]. В статье рассматривается задача интеграции и совместного использования в исследованиях проблем ЭБ онтологических, когнитивных и событийных моделей.

#### Семантическое моделирование

Под *семантической моделью* в обобщенном виде понимается информационная модель, отражающая понятия предметной области и отношения между ними [4]. Авторы рассматривают семантическое моделирование на примере онтологических, когнитивных и событийных моделей [5].

Под *онтологическим моделированием* понимается построение онтологий как в графическом, так и формализованном виде. Онтологии определяют как базу знаний специального вида, или как «спецификацию концептуализации» предметной области [6]. Последнее означает процесс классификации базовых терминов предметной области с определением основных понятий (концептов) и установлением связей между ними. В свою очередь, процесс спецификации заключается в описании онтологии в графическом виде или на одном из формальных языков (XML, RDFS, OWL и др.) [7]. Для работы с экспертами авторы используют графическое представление онтологий; для хранения онтологий используется их представление на языке XML.

Под *когнитивным моделированием* понимается построение когнитивных моделей, или, иначе, когнитивных карт (ориентированных графов), в которых вершины соответствуют факторам (концептам), а дуги – связям между факторами, (положительным или отрицательным), в зависимости от

характера причинно-следственного отношения [8]. В простейшем случае веса связей могут иметь значения +1 или -1 либо принимать нечеткие значения из отрезка  $[-1, 1]$  или некоторой лингвистической шкалы, что в наибольшей степени соответствует качественному анализу [9].

Под *событийным моделированием* понимается построение поведенческих моделей, причем в качестве объектов моделирования могут выступать как люди, так и технические объекты. Сущность событийного метода моделирования заключается в отслеживании на модели последовательности событий в том же порядке, в каком они происходили бы в реальной системе. Задаваемые моделью последовательности реализации событий – цепочки событий – описывают сценарии реакции системы на возникновение инициирующего события, стоящего в начале цепочки. В результате событийная модель позволяет получить множество альтернативных сценариев развития заданной ситуации в системе, что и является основной целью событийного моделирования [10].

Методика совместного использования онтологического, когнитивного и событийного моделирования в исследованиях ЭБ с использованием инструментальных средств их поддержки включает в себя этап перехода от когнитивных карт к событийным моделям в виде событийных карт [11–13]. На текущий момент этот переход осуществляется вручную с помощью эксперта, что занимает довольно много времени и не позволяет оперативно перейти к количественному анализу полученных результатов и проведению вычислительных экспериментов. Для решения этой проблемы и обеспечения интеграции программных средств когнитивного и событийного моделирования в рамках вышеупомянутой методики предлагается автоматизировать этап перехода от когнитивных карт к событийным моделям с использованием онтологий.

#### Использование онтологии событий для перехода от когнитивных карт к событийным моделям

Ввиду того, что когнитивные карты отображают причинно-следственные связи факторов и силу их взаимовлияния, а событийные модели показывают развитие ситуации во времени, становится очевидной невозможность непосредственного сопоставления факторов на когнитивной карте и событий в событийной модели. Данная проблема может быть решена путем использования онтологий в качестве классификаторов концептов предметной области. На практике это означает, что каждому фактору когнитивной карты ставится в соответствие концепт из онтологического пространства знаний, который фиксирует принадлежность рассматриваемого фактора к некоторой группе объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК) или процессов в нем. На основании анализа предметной области были выделены следующие группы факторов, используемые при построении когнитивных карт:

1. Негативные факторы (угрозы ЭБ).
2. Объекты ТЭК (объекты добычи/производства, переработки, транспортировки и хранения ТЭР, потребители ТЭР).
3. Мероприятия по устранению причин и следствий угроз ЭБ.
4. Показатели, отображающие некоторые числовые характеристики объектов или процессов. Показатели всегда связаны с некоторым объектом ТЭК и выделяются в отдельную группу, как часто встречающийся факторы в когнитивных картах (иллюстративным примером является модель влияния потребления электроэнергии в регионе, предложенная Р. Аксельродом [14]).

Как уже было отмечено в предыдущем разделе, факторам, соответствующим объектам ТЭК, невозможно прямо сопоставить некоторое событие на событийной карте, поскольку оно появляется на этапе перехода от когнитивных к событийным моделям при рассмотрении причинно-следственных отношений факторов. Для преодоления этой сложности авторами предлагается использовать *онтологию событий*.

Онтологии событий рассматриваются в данном случае как онтологии, описывающие фрагменты знаний о возможных событиях, способных возникнуть на объектах ТЭК при воздействии на них негативных факторов или, наоборот, факторов, улучшающих их состояние. Таким образом, онтологии событий расширяют онтологическое пространство знаний о некотором объекте ТЭК. На рис. 1 представлен фрагмент такой онтологии для объектов добычи углеснабжающей системы (АВП – аварии, взрывы, пожары).

Для осуществления автоматизации перехода от когнитивных карт к событийным моделям авторами предлагается набор *правил* генерирования событий на основе принадлежности фактора к той или иной группе, согласно онтологии и характеру причинно-следственного отношения, связывающему его с другими факторами, с учетом весового коэффициента связи:

1. Угрозе ЭБ или иному негативному явлению в системах энергетики можно сопоставить соответствующее событие.

2. Для фактора, соответствующего объекту ТЭК, выбирается событие из онтологии событий, связанной с этим фактором.
3. Управляющим воздействиям можно сопоставить соответствующие события.
4. Показателю можно сопоставить событие, связанное с изменением его значения (например, для фактора «Уровень потребления ТЭР» таким событием может являться «Увеличение/уменьшение уровня потребления ТЭР»).

Кроме вышеперечисленных, существует еще одно общее правило логического следствия: при анализе угроз ЭБ и построении событийных моделей в начале цепочки событий ставятся превентивные мероприятия (если присутствуют) или ЧС, затем их негативные последствия (могут быть извлечены из онтологии событий) в системах энергетики. Далее указываются ликвидационные мероприятия, направленные на устранение последствий ЧС. После их выполнения при необходимости может быть выполнен повторный обход когнитивной карты с генерированием соответствующих событий на основании направлений связей и их весов. Представляется, что последний вариант построения событийной модели будет особенно полезен при работе с динамическими когнитивными картами.

#### Алгоритм автоматизированного перехода от когнитивных карт к событийным моделям с использованием онтологий

На основании вышеперечисленных правил авторами предлагается алгоритм автоматизированного перехода от когнитивных карт к событийным моделям с использованием онтологий в качестве классификаторов концептов:

1. Осуществляется выбор одного или нескольких инициирующих событий. В соответствии с правилом логического следствия и правилами генерирования событий (предыдущий раздел) таким событием становится угроза ЭБ или превентивные мероприятия.
2. Из множества факторов выбирается один элемент (текущий фактор), связанный отношением следствия с исходным фактором.

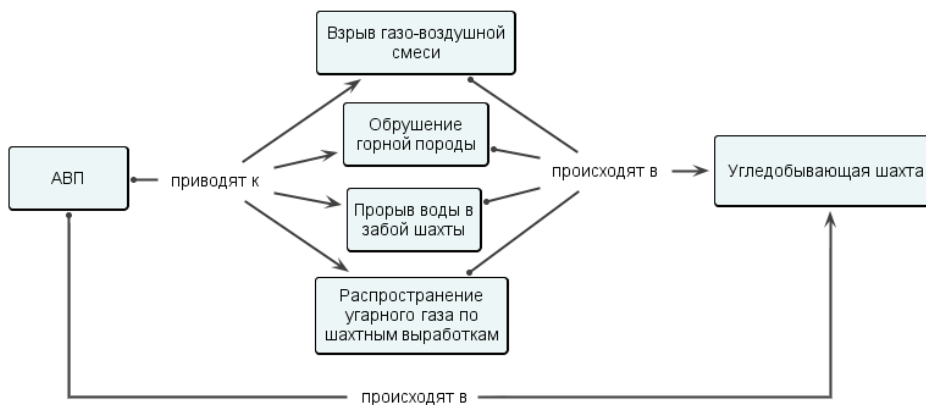


Рис. 1. Фрагмент онтологии событий для объекта добычи углеснабжающей системы

3. Осуществляется сбор информации для последующего генерирования события: анализируется вес связи между факторами и принадлежность текущего фактора к той или иной их группе согласно системе онтологий.
4. На основании информации, полученной на предыдущем шаге алгоритма, фактору сопоставляется некоторое событие, которое занимает свое место в их причинно-следственной цепочке.
5. Пункты 2–4 выполняются для каждого элемента множества факторов когнитивной карты до тех пор, пока не останутся нерассмотренными факторы, обозначающие ликвидационные мероприятия.
6. Если на когнитивной карте присутствуют факторы, соответствующие ликвидационным мероприятиям, то они рассматриваются как исходные факторы, а соответствующие им события продолжают построенную ранее их причинно-следственную цепочку. Пункты 2–4 выполняются для каждого элемента множества факторов когнитивной карты. Когда рассмотрены все факторы, работа алгоритма заканчивается.

Алгоритм в виде блок-схемы представлен на рис. 2. Нумерация блоков соответствует вышеприведенным пунктам алгоритма.

В качестве примера, демонстрирующего работу вышеописанного алгоритма, выбрана группа угроз ЭБ техногенного происхождения «Аварии, взрывы, пожары» («АВП»). Реализация угроз такого типа проявляется в разрушении объектов ТЭК и, прежде всего, объектов добычи/производства энергоресурсов, транспортных магистралей и потребителей энергоресурсов. Эти события, в свою очередь, могут повлечь за собой истощение запасов энергоресурсов с угрозой их дефицита. Мероприятия, призванные ликвидировать последствия реализации ЧС, направлены на скорейшее восстановление объектов ТЭК и связей между ними для поддержания нормативного уровня запасов энергоресурсов.

Согласно методике совместного использования онтологического, когнитивного и событийного моделирования, на первом этапе разрабатывается онтология или метаонтология, описывающая взаимосвязи основных концептов предметной области (рис. 3). На рисунке показано, что выделяются шесть типов угроз ЭБ: техногенные, природные, экономические, социально-политические, управленческо-правовые, а также угрозы кибербезопасности. Мероприятия, которые повышают уровень ЭБ, могут быть как превентивными (предотвращающими угрозы ЭБ), так и ликвидационными

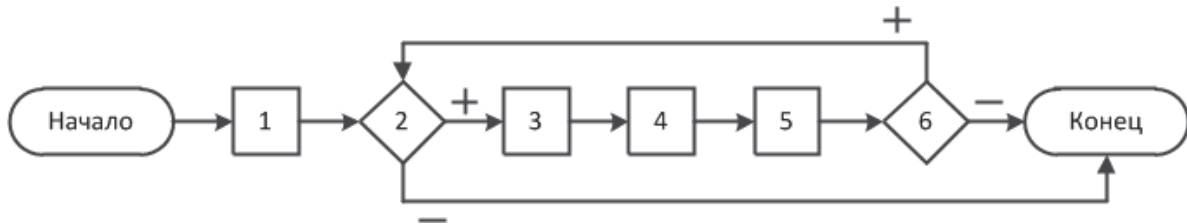


Рис. 2. Блок-схема алгоритма перехода от когнитивных карт к событийным моделям на основе онтологий

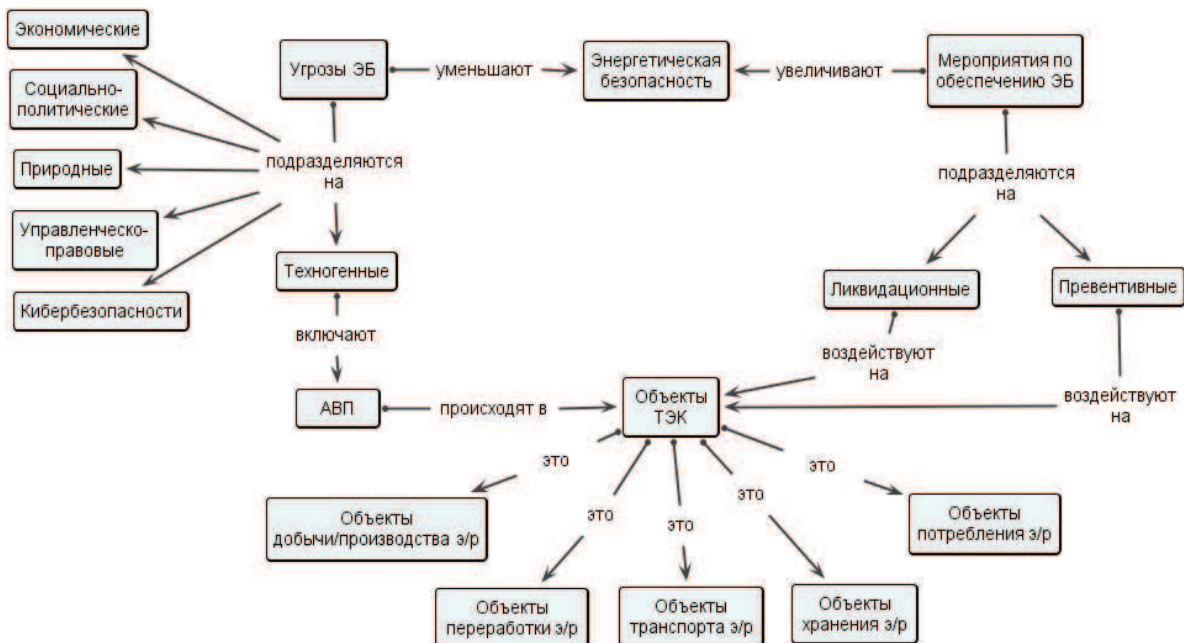


Рис. 3. Фрагмент метаонтологии, используемой для описания угрозы «АВП»

ми (если угрозу возникновения чрезвычайной ситуации предотвратить не удалось, ЧС произошла и надо устранять ее последствия).

На втором этапе выполняется когнитивное моделирование угрозы с описанием основных зависимостей между негативными факторами, показателями ТЭК и мероприятиями по обеспечению энергетической безопасности (рис. 4).

На основе имеющейся метаонтологии описания угрозы «АВП» и когнитивной карты строится набор онтологий событий (в данном случае метаонтологий), позволяющих перейти от описания фактора к соответствующему событию в событийной модели. Примеры метаонтологий событий в объектах ТЭК при реализации в них угрозы «АВП» и ликвидационных мероприятий представлены на рис. 5.

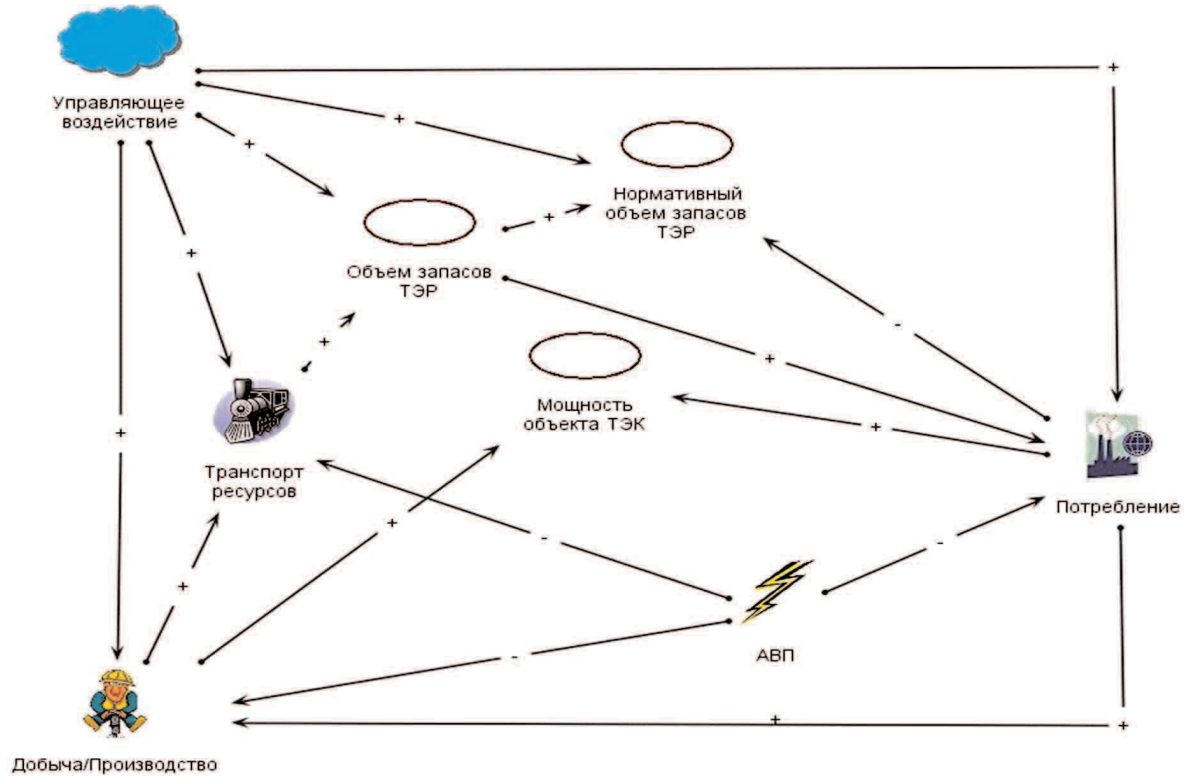


Рис. 4. Когнитивная карта угрозы «АВП»

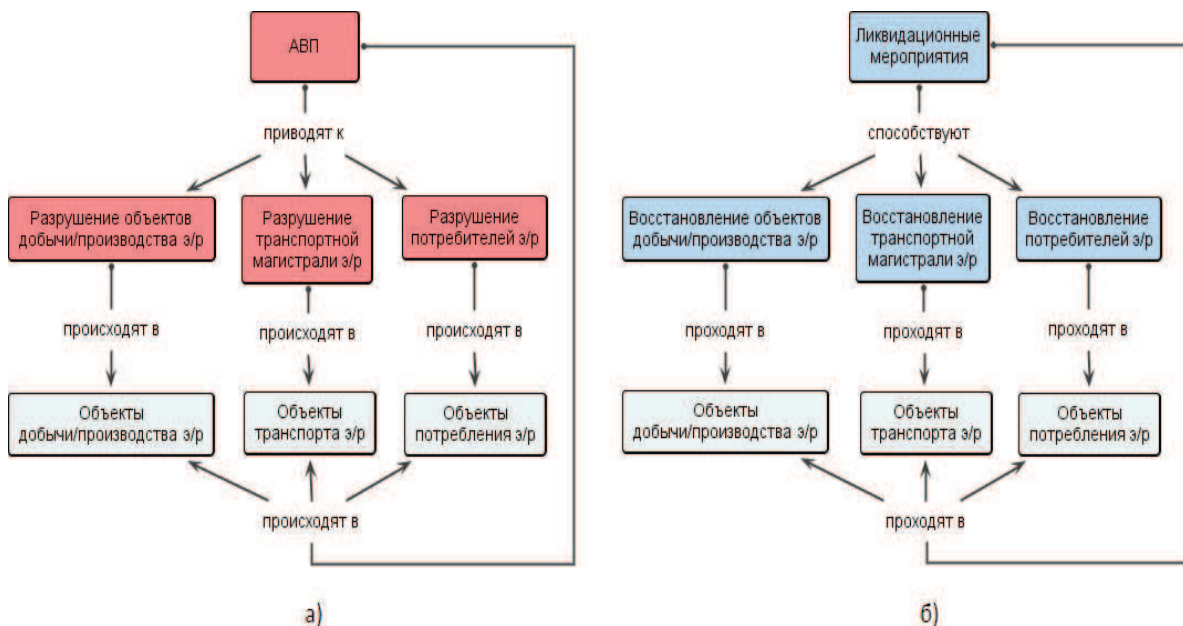


Рис. 5. Примеры метаонтологий событий объектов ТЭК: а) реализация угрозы «АВП»; б) реализация ликвидационных мероприятий

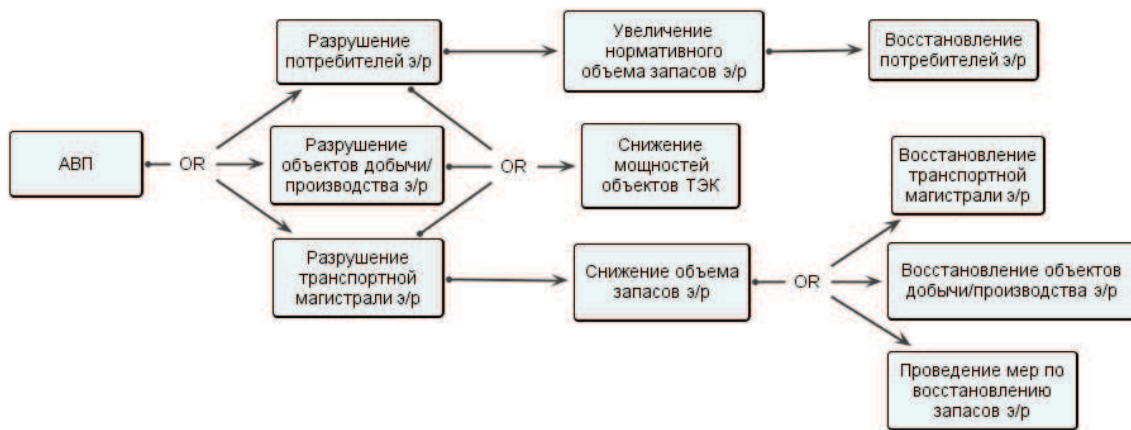


Рис. 6. Событийная карта угрозы «АВП»

Далее для формирования сценариев реализации мероприятий с помощью предложенного авторами алгоритма разрабатывается событийная модель, инициирующим событием в которой является угроза «АВП». События генерируются при переходе от одного фактора к другому с учетом веса и направления связи, а также построенных ранее метаонтологий событий (рис. 5). Результат представлен на рис. 6.

Полученная таким образом событийная модель может быть отредактирована исследователем и использована для формирования многовариантных сценариев проведения вычислительного эксперимента.

#### Использование Joiner-сетей для последующего анализа и обработки событийных моделей

Авторы предлагают использовать когнитивные модели для моделирования угроз ЭБ. Для рассмотрения вариантов развития ЧС предлагается ис-

пользовать событийное моделирование (определено выше). Совместное использование когнитивного и событийного моделирования позволяет получить более объективную оценку ситуации.

Алгоритм автоматизированного перехода от когнитивных карт к событийным моделям с использованием онтологий в качестве классификаторов концептов позволяет обойти ряд трудностей. Для лучшего восприятия информации экспертом предлагается использовать аппарат Joiner-сетей, который в дальнейшем позволяет нам выполнять анализ полученных событийных карт.

Аппарат Joiner-сетей является одной из разновидностей алгебраических сетей, предложенной проф. МФТИ Л.Н. Столяровым и развиваемой его учениками [10, 15–18]. Joiner-сети (Joiner-Nets – JN) можно рассматривать как расширение сетей Петри, ориентированное на построение поведенческих моделей. В основе теории JN лежит описание логики

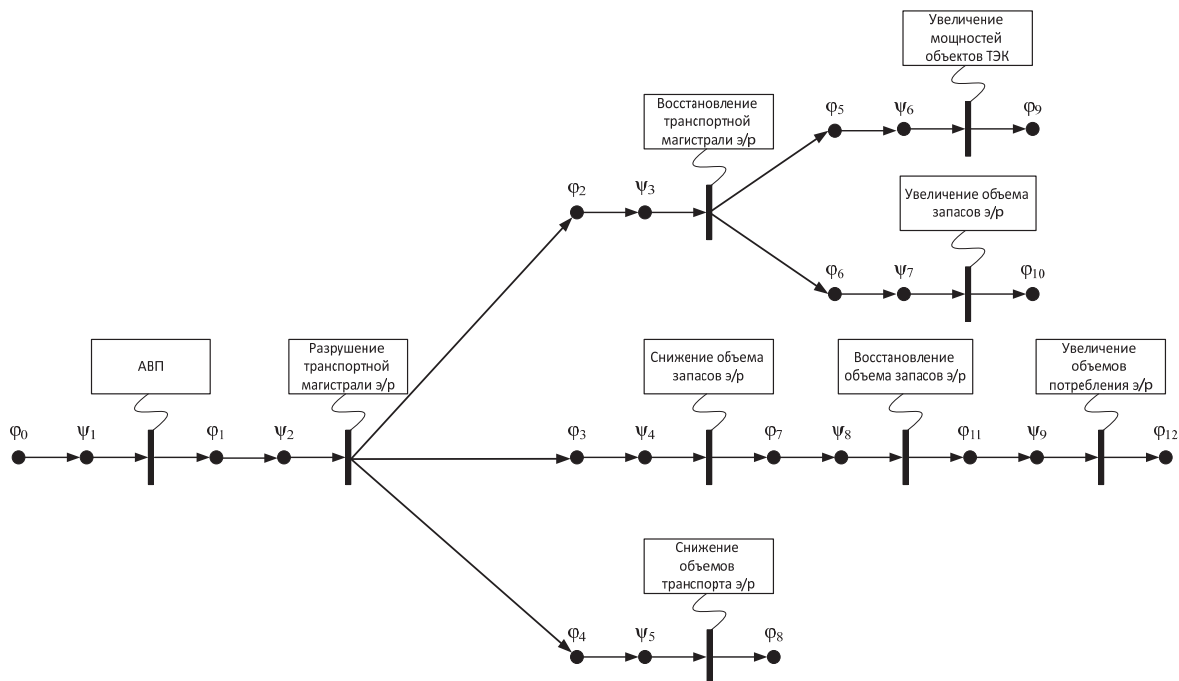


Рис. 7. Пример JN, построенной по событийной карте угрозы «АВП»

взаимодействия асинхронных процессов в виде набора пусковых и флаговых функций, состоящих из булевых функций. Особенностью JN является то, что они предусматривают как графическое представление, так и описание в виде логических формул, обработку которых можно автоматизировать.

**Таблица.** Список логических уравнений

Пусковые функции	Флаговые функции
$\psi_1(t+1)=\varphi_0(t)\cdot\varphi_1(t)$	$\varphi_0(t+1)=0; \varphi_1(t+1)=1$
$\psi_2(t+1)=\varphi_1(t)\cdot\varphi_2(t)\times$ $\times\varphi_3(t)\cdot\varphi_4(t)$	$\varphi_1(t+1)=0;(\varphi_2(t+1)=1)\vee$ $\vee(\varphi_3(t+1)=1)\vee(\varphi_4(t+1)=1)$
$\psi_3(t+1)=\varphi_2(t)\cdot\varphi_5(t)\times$ $\times\varphi_6(t)$	$\varphi_2(t+1)=0;(\varphi_5(t+1)=1)\vee$ $\vee(\varphi_6(t+1)=1)$
$\psi_4(t+1)=\varphi_3(t)\cdot\varphi_7(t)$	$\varphi_3(t+1)=0; \varphi_7(t+1)=1$
$\psi_5(t+1)=\varphi_4(t)\cdot\varphi_8(t)$	$\varphi_4(t+1)=0; \varphi_8(t+1)=1$
$\psi_6(t+1)=\varphi_5(t)\cdot\varphi_9(t)$	$\varphi_5(t+1)=0; \varphi_9(t+1)=1$
$\psi_7(t+1)=\varphi_6(t)\cdot\varphi_{10}(t)$	$\varphi_6(t+1)=0; \varphi_{10}(t+1)=1$
$\psi_8(t+1)=\varphi_7(t)\cdot\varphi_{11}(t)$	$\varphi_7(t+1)=0; \varphi_{11}(t+1)=1$
$\psi_9(t+1)=\varphi_{11}(t)\cdot\varphi_{12}(t)$	$\varphi_{11}(t+1)=0; \varphi_{12}(t+1)=1$

На рис. 7 представлен пример фрагмента JN, построенной по событийной карте угрозы «АВП» (рис. 6).

Список логических уравнений, описывающих передачу возбуждений в Joiner-сети, представлен

ной на рис. 7, представлен в таблице, Joiner-сеть соответствует событийной карте, показанной на рис. 6.

### Заключение

В статье рассмотрена интеграция семантических моделей в исследованиях проблем ЭБ. Предложен алгоритм автоматизированного перехода от когнитивных карт к событийным моделям с использованием онтологий, который расширяет методику совместного использования онтологического, когнитивного и событийного моделирования для ситуационного анализа в исследованиях ЭБ.

Алгоритм, описанный в работе, использует систему онтологий в качестве классификатора концептов исследуемой предметной области. В дополнение к традиционным онтологиям авторы предлагают использовать онтологии событий, описывающие фрагменты знаний о возможных событиях в объектах ТЭК при воздействии на них негативных факторов, или, наоборот, факторов, улучшающих их состояние. Таким образом, используя онтологическое пространство знаний, возможно обеспечить лучшую интеграцию методов и программных средств когнитивного и событийного моделирования.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 12-07-00359, 13-07-140, 14-07-116, а также грантов Программы Президиума РАН № 229 и интеграционного проекта СО РАН № 18Б.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическая безопасность России / Бушуев В.В., Воронин Н.И., Мастепанов А.М., Шафраник Ю.К. – Новосибирск: Сибир. издат. фирма РАН «Наука», 1998. – 302 с.
2. Массель А.Г. Двухуровневая технология вычислительных экспериментов в исследованиях проблем энергетической безопасности // Информационные и математические технологии в науке и управлении: Труды XVI Байкальской Всероссийской конференции. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2011. – Ч. III. – С. 70–76.
3. Массель Л.В., Массель А.Г. Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 5. – С. 135–141.
4. Массель Л.В. Интеграция семантического и математического моделирования в исследованиях проблем энергетической безопасности // Моделирование-2012: Труды Междунар. конф. – Киев: ИПМЭ НАН Украины, 2012. – С. 270–273.
5. Массель Л.В., Массель А.Г. Семантические технологии на основе интеграции онтологического, когнитивного и событийного моделирования // OSTIS-2013: Матер. III Междунар. научно-техн. конф. – Беларусь, Минск: БГУИР, 2013. – С. 247–250.
6. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
7. Тузовский А.Ф., Чириков С.В., Ямпольский В.З. Системы управления знаниями (методы и технологии). – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 260 с.
8. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. – М.: СИНТЕГ, 1998. – 376 с.
9. Kosko V. Fuzzy Cognitive Maps // International Journal of Man-Machine Studies. – 1986. – № 24. – Р. 65–75.
10. Столяров Л.Н. Философия событийного моделирования на примере сценария энергетической катастрофы // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуника-

- ции и бизнесе: Труды Междунар. конф. – Гурзуф, 2010. – С. 197–200.
11. Массель А.Г. Методологический подход к организации интеллектуальной поддержки исследований проблемы энергетической безопасности // Информационные технологии. – 2010. – № 9. – С. 32–36.
12. Массель Л.В. Применение онтологического, когнитивного и событийного моделирования для анализа развития и последствий чрезвычайных ситуаций в энергетике // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2010. – № 2. – С. 34–43.
13. Аршинский В.Л. Методический подход к событийному моделированию в исследованиях энергетической безопасности // Информационные и математические технологии в науке и управлении: Труды XV Байкальской Всеросс. конф. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2010. – Ч. III. – С. 120–129.
14. Axelrod R. Structure of decision. – Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1976. – 404 p.
15. Новик К.В. Сеть автоматов для моделирования асинхронного взаимодействия процессов: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – М., 2006. – 22 с.
16. Столяров Л.Н., Новик К.В. Joiner-сеть для моделирования взаимодействующих параллельных процессов // Моделирование процессов управления: Сб. научных трудов. – М.: Изд-во Моск. физ.-тех. ин-та, 2004. – С. 81–97.
17. Столяров Л.Н., Новик К.В. Реализация параллельных процессов с помощью сетей Joiner-net // Информационные и математические технологии: Сб. научных трудов. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2004. – С. 11–14.
18. Анисимов М.М. Управление событийными сетями // Информационные и математические технологии в науке и управлении: Труды XIV Байкальской Всеросс. конф. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2009. – Ч. 3. – С. 238–240.

*Поступила 09.04.2014 г.*

## SEMANTIC MODELS INTEGRATION IN RESEARCH OF ENERGY SECURITY PROBLEMS

Aleksii G. Massel,

Cand. Sc., Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 130, Lermontov street, Irkutsk, 664033, Russia.

E-mail: amassel@gmail.com

Vadim O. Tyuryumin,

Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 130, Lermontov street, Irkutsk, 664033, Russia.

E-mail: vadim.tyuryumin@gmail.com

The urgency of the work is determined, on the one hand, by the importance of energy security issues and its research, on the other – by the need to develop intelligent research tools and their integration with traditional mathematical models.

**The main aim of the study:** improvement of two-level technology of researching energy security problems by integrating semantic models and expanding ontological space of knowledge on object domain by event ontologies.

**The methods used in the study:** On the top (first) level of the previously proposed two-level technology of energy security problems research a qualitative analysis (express analysis) is performed using the methods and means of semantic (ontological, cognitive and event) simulation, on the lower (second) level a quantitative analysis is performed on the basis of numerical calculations using traditional software systems. Cognitive models are used to simulate the energy security threats, event model are used to simulate emergencies development in energy sector. Joint implementation of cognitive and event modeling allows obtaining more objective evaluation of the situation. The paper introduces the event ontologies used for transition from cognitive to event-driven models and considers application of Joiner-nets for analyzing and processing event models.

**The results:** The authors have proposed the rules for generating events ontologies. The paper describes the algorithm for automated transition from cognitive maps to event-driven models based on ontology (using events ontologies) as one of the stages of improving two-level technology. The article introduces the developed ontologies, cognitive and event maps and event model using Joiner-nets built on their basis.

**Key words:**

Energy security, Semantic modeling, Ontological, Cognitive and Event modeling, Event ontology, Joiner-nets.

## REFERENCES

1. Bushuev V.V., Voropay N.I., Mastepanov A.M., Shafranik Yu.K. *Energeticheskaya bezopasnost Rossii* [Energy security of Russia]. Novosibirsk, Nauka, 1998. 302 p.
2. Massel A.G. Dvukhurovnevaya tekhnologiya vychislitelnykh eksperimentov v issledovaniyakh problem energeticheskoy bezopasnosti [Two-level technology of computing experiments in energy security problems research]. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii. Trudy XVI Baykalskoy Vserossiyskoy konferentsii* [Mathematical and Informational Technologies in Science and Management. Proc. XVI Baykal Russian Conference]. Irkutsk, ISEM SB RAS, 2011. P. III, pp. 70–76.
3. Massel L.V., Massel A.G. Intellektualnye vychisleniya v issledovaniyakh napravleniy razvitiya energetiki [Intelligent computing in studying directions of power engineering development]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 321, no. 5. pp. 135–141.
4. Massel L.V. Integratsiya semanticheskogo i matematicheskogo modelirovaniya v issledovaniyakh problem energeticheskoy bezopasnosti [Integration of semantic and mathematical modeling when studying the problems of energy security]. *Modelirovanie-2012. Trudy mezhdunarodnoy konferentsii* [Proceedings of the International Conference Simulation-2012]. Kiev, IPME NAS, 2012. pp. 270–273.
5. Massel L.V., Massel A.G. Semanticheskie tekhnologii na osnove integratsii ontologicheskogo, kognitivnogo i sobyitnogo modelirovaniya [Semantic technologies based on integration of ontological, cognitive and event simulation]. *OSTIS-2013. Materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Proc. III International Scientific and Technical Conference. OSTIS-2013]. Belarus, Minsk, BSUIR, 2013. pp. 247–250.
6. Gavrilova T.A., Khoroshevsky V.F. *Bazy znaniy intellektualnykh sistem* [Knowledge base of intelligent systems]. St. Petersburg, Piter, 2001. 384 p.
7. Tuzovsky A.F., Chirikov S.V., Yampolsky V.Z. *Sistemy upravleniya znaniyami (metody i tekhnologii)* [Knowledge management systems (methods and techniques)]. Tomsk, NTL Publ., 2005. 260 p.
8. Trakhtengerts E.A. *Kompyuternaya podderzhka prinyatiya resheniy* [Computer support of decision-making]. Moscow, SINTEG Publ., 1998. 376 p.
9. Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 1986, no. 24, pp. 65–75.
10. Stolyarov L.N. Filosofiya sobyitnogo modelirovaniya na primere stsensariya energeticheskoy katastrofy [Philosophy of event simulation by the example of energy catastrophe script]. *Informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii, telekommunikatsii i biznese. Trudy Mezhdunarodnoy konferentsii* [Proc. of the International Conference. Information Technologies in science, education, telecommunications, and business]. Ukraine, Gursuf, 2010. pp. 197–200.
11. Massel A.G. Metodologicheskii podkhod k organizatsii intellektualnoy podderzhki issledovaniy problemy energeticheskoy bezopasnosti [Methodological approach to organization of intellectual support of researching the energy security problem]. *Informatsionnye tekhnologii – Information Technologies*, 2010, no. 9, pp. 32–36.
12. Massel L.V. Primenenie ontologicheskogo, kognitivnogo i sobyitnogo modelirovaniya dlya analiza razvitiya i posledstviy chrezvychaynykh situatsiy v energetike [Application of ontological, cognitive and event simulation to analyze the development and consequences of emergency situations in power industry]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy – Problems of safety and emergencies*, 2010, no. 2, pp. 34–43.



13. Arshinsky V.L. Metodicheskiy podkhod k sobytiynomu modelirovaniyu v issledovaniyakh energeticheskoy bezopasnosti [Methodical approach to event simulation in energy security research]. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii. Trudy XV Baykalskoy Vserossiyskoy konferentsii* [Proc. XV Baikal Russian Conference. Mathematical and Informational Technologies in Science and Management]. Irkutsk, ESI SB RAS, 2010. P. III, pp. 120–129.
14. Axelrod R. *Structure of decision*. Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 1976. 404 p.
15. Novik K.V. *Set avtomatov dlya modelirovaniya asinkhronnogo vzaimodeystviya protsessov. Avtoreferat dis. kand. nauk* [Network automats for modelling asynchronous communication processes. Abstract. Cand diss.]. Moscow, 2006. 22 p.
16. Stolyarov L.N., Novik K.V. Joiner-set dlya modelirovaniya vzaimodeystviyuyushchikh parallelnykh protsessov [Joiner-interacting network for modelling concurrent processes]. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii. Sbornik nauchnykh trudov* [Information and mathematical techniques. Scientific papers]. Moscow, Moscow Institute of Physics and Technology Press, 2004. pp. 81–97.
17. Stolyarov L.N., Novik K.V. Realizatsiya parallelnykh protsessov s pomoshchyu setey Joiner-net [Implementation of parallel processes with a help of Joiner-net]. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii. Sbornik nauchnykh trudov* [Informational and Mathematical technologies. Scientific papers]. Irkutsk, ESI SB RAS, 2004. pp. 11–14.
18. Anisimov M.M. Upravlenie sobytiynymi setyami [Event-management networks]. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii. Trudy XIV Baykalskoy Vserossiyskoy konferentsii* [Proc. XIV Baikal All Russia Conference. Information technology and mathematical science and management]. Irkutsk, ESI SB RAS, 2009. P. 3, pp. 238–240.

УДК 004.9

## НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ СЛЕЖЕНИЯ ЗА ОБЪЕКТОМ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

**Тарков Михаил Сергеевич,**

канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории физических основ интегральной микроэлектроники Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Россия, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13. E-mail: tarkov@isp.nsc.ru

**Дубынин Сергей Владимирович,**

магистрант Новосибирского государственного университета, Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2. E-mail: dubyninsergey@gmail.com

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки программных средств слежения за объектами в реальном масштабе времени.

**Цель работы:** Создание алгоритма слежения за объектом в кадре в реальном масштабе времени.

**Методы исследования:** Параллельная реализация сигмоидальной нейронной сети на графическом процессоре, замеры временных характеристик параллельного алгоритма и его оптимизация.

**Результаты:** Предложена реализация на графическом процессоре (GPU) нейросетевого алгоритма слежения за объектом, спецификой которого является использование при обучении нейронной сети задачника, устанавливающего однозначное соответствие обрабатываемого кадра в видеопотоке координатам центра объекта в кадре. Благодаря использованию GPU удается решить задачу слежения в реальном масштабе времени (25 кадров в секунду) при размерах обрабатываемого кадра до 1280×960. Алгоритм основан на использовании многослойного перцептрона и имеет ряд параметров, которые определены экспериментально. Одним из таких параметров является число нейронов скрытого слоя. В связи с реализацией алгоритма на GPU рассмотрены числа нейронов, кратные 16. В экспериментах установлено, что 16 и 32 нейрона не могут обеспечить даже малой степени запоминания образов, 48 нейронов справились с обучением только на малых обучающих выборках, 64 нейрона обеспечили хорошую степень запоминания образов и скорость работы. Дальнейшее увеличение числа нейронов приводит только к уменьшению скорости работы нейронной сети и ее обучения.

Также заслуживает внимания частота, с которой нужно брать кадры из видеозаписи, чтобы эффективно обучить нейронную сеть. Экспериментально установлено, что на частоте выборки одного кадра из десяти сумма максимальных отклонений по обеим координатам равна 50 при размерах объекта 300×300; дальнейшее увеличение частоты кадров лишь замедляет процесс обучения, не давая существенного выигрыша в качестве.

Получены ускорения процесса слежения в 10 раз по сравнению с центральным процессором персонального компьютера. Процесс обучения нейронной сети ускорился в среднем только в 2 раза. Это обусловлено необходимостью транспонирования матриц весов при реализации обучения нейронной сети на GPU.

Для реализации параллельного алгоритма использована программно-аппаратная архитектура CUDA, позволяющая производить вычисления с использованием графических процессоров NVIDIA, поддерживающих технологию GPGPU (произвольных вычислений на видеокартах). Для предварительной обработки изображений и вывода информации использовалась библиотека компьютерного зрения OpenCV.

**Ключевые слова:**

Слежение за объектом, нейронная сеть, параллельные вычисления, графический процессор, CUDA.