

СРЕДСТВА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МОДЕЛЕЙ КОЛИЧЕСТВЕННОГО МАКРОУРОВНЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ САПР

Григорьев А.В.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра прикладной математики и информатики

E-mail: grigorie@r5.dgtu.donetsk.ua

Abstract

Grigoriev A.V. Funds submission of quantitative models macro-level in the intelligent CAD. We consider the problem of building procedure P4 semiotic conceptual model subject area at the level of quantitative macro. A deal with the equivalent circuit design objects at the macro level as specialized neural networks. Specifics of neural networks: the method of programming restrictions; accounting presentation features structures and functions in the conceptual model.

Общая постановка проблемы. Теоретической основой построения САПР как интеллектуальной системы (И САПР) является концептуальная модель предметной области (далее просто КМ). КМ включает в себя средства представления модели объекта проектирования и средства манипулирования моделью. КМ является основой для создания инструментальных средств автоматизации построения И САПР, средством ее проблемной адаптации. Необходимость построения таких инструментальных средств подтверждается практикой, что делает актуальным задачу разработки КМ.

Данная работа посвящена развитию результатов по построению КМ, ранее полученных автором. Предлагаемая КМ строится как семиотическая модель (СМ) [1], т.е. открытая формальная система. КМ ориентирована на представление моделей объекта структурного, функционально-логического и количественного макроуровня и отражает физическую семантику предметной области, т.е. предполагает явное представление потенциалов, координат взаимодействия (КВ), токов и т.д. По классу решаемых задач проектирования КМ соответствует модели САПР решения типичных задач проектирования (ТП), предложенной в т.н. теории сложности САУ [2]. КМ предполагается явное наличие пространства типичных решений, т.е. целевого пространства систем (ЦПС), пространства технических заданий - обликов (ПОС) и критерия сложности, как метода оптимизации процесса вывода.

Ранее рассматривались следующие аспекты решения проблемы построения СМ И САПР ТП: 1) Построение СМ для системы уровней представления данных в модели проектирования как системы уровней доопределения НЕ-факторов [3]; 2) Построение многоуровневой СМ структуры объекта проектирования на базе системы уровней представления данных [4], отличающейся наличием критерия возникновения связей исходя из критерия близости физических точек (ФТ) в многомерном пространстве координат; 3) Средства синтеза моделей структур, формируемых в рамках КМ, спецификой которых является однозначное определение модели структур по списку структурных связей между блоками [5]; 4) Средства построения вычислительных моделей методом программирования в ограничения (ПрОг) в условиях ограничения на сложность формул [6-7]; 5) Метод решения дифференциальных уравнений методом ПрОг в условиях специфики предлагаемой модели структур и ограничений на сложность формул [8]; 7) Средства представления потенциалов, токов и координат взаимодействия в рамках предлагаемой СМ структур объектов проектирования [9]; 8) Процедуры П4 для СМ, обеспечивающей вывод желаемого решения на уровне функционально-логической модели на основе множества обобщенных жизненных

циклов объекта, составляющих ЦПС, что соответствует описанию движения объекта проектирования в пространстве и времени в рамках предлагаемой модели структур [10].

В рамках данной СМ имеется ряд нерешенных задач, среди которых задача построения процедуры П4 для СМ КМ, обеспечивающей вывод на уровне количественной макромоделли на основе представления множества обобщенных жизненных циклов (ЖЦ) объекта, составляющих ЦПС. Такой вывод соответствует описанию движения объекта проектирования в пространстве и времени в на уровне макромоделли рамках предлагаемой КМ. Без решения данной проблемы предлагаемая СМ КМ не является завершенной.

Цель данной статьи – это комплексное изложение методов построения и исследования моделей количественного макроуровня в рамках данной СМ КМ, обеспечивающих решение данной задачи.

Постановка задачи исследования. Выполним анализ СМ КМ и определим конкретные цели работы. *Рассмотрим особенности используемой КМ и специфику процедуры П4 СМ КМ.* Предлагаемая КМ с точки зрения макромоделли фактически ориентирована на анализ переходного процесса в эквивалентной схеме, модель которой построена узловым методом. В этом случае целью исследования является анализ динамики работы схемы во времени, начиная от момента времени, когда внешний источник возбуждения резко изменил свое значение. Модель объекта представляет собой ряд моделей пространства в различные моменты времени, связанных отношениями достижимости. Особенностью модели пространства есть иерархическая блочная структура объекта. Перечислим специфические черты модели базового уровня иерархии модели, определяющие способ построения количественной макромоделли:

- 1) базовый блок модели – ФТ есть узел эквивалентной схемы;
- 2) потенциал(ы) есть неотрывное свойство ФТ;
- 3) взаимодействия двух потенциалов по токам отражается не одной причинно-следственной связью, динамически меняющей направление по току, а двумя разнонаправленными связями;
- 4) связи в пределах модели объекта в любой момент времени делятся на активные и пассивные: активные – те, которые соответствуют реальному направлению тока, пассивные – это не востребованные связи; направление тока есть спин данной пары связей;
- 5) каждая КВ относится к двум разнонаправленным дугам, имеется две функциональные зависимости для одной КВ, т.е. *компонентное уравнение* имеет две одновременно существующие формы представления;
- б) функции связи описывают влияние одного потенциала (источника - выходного) на другой (приемник - входной), используя силу тока и КВ;
- 7) КВ и сила тока как свойства связи, есть внешние дополнительные свойства «чужого» потенциала на внешней границе блока;
- 8) эквивалентность значений КВ двух парных связей есть дополнительное соотношение, определенное внутри блока;
- 9) активные связи отражают законы сохранения в форме *уравнений Кирхгофа*, т.е. топологических уравнений; при этом: «сумма токов в узле» - это дополнительное соотношение, определенное для каждого блока; «сумма падений напряжений по контуру» - дополнительные соотношения для каждого *активного* контура;
- 10) «сумма токов» – это соотношение, фактически задающая модель блока, как потенциала;
- 11) «сумма падений напряжений» – это фактически модель всей схемы в целом, т.е. модель вышележащего, декомпозированного потенциала.

Функция, определяющая входной ток ФТ, направленный по связи от «чужой» ФТ к рассматриваемой ФТ, считается определенной внутри блока – ФТ-приемника и является однородной. Функция обладает всеми аргументами, принадлежащими в текущий момент

времени данной ФТ. Это «свой» потенциал, «родные» параметры связи (тип, значение КВ и сила тока), принадлежащие одновременно и потенциалу данной ФТ. Таким же образом входят в состав параметров функции и свойства ФТ-источника (чужие параметры). Если «своя» ФТ имеет связи с ФТ из предыдущих моментов времени (например, с собой же), то эти данные становятся доступны и функции. Это верно и по отношению к «чужой» ФТ. Связи данной ФТ с ФТ, расположенными в других моментах времени, не имеют типа (т.е. не имеют КВ, его значения и тока) и играют чисто информативную роль. Благодаря таким связям, функция может выявить значение, т.е. вес данной связи, например, в предыдущий период времени. Связей одного типа между двумя ФТ может быть более одной. Это значит, что: 1) свой и чужой потенциал у данных связей – то же; 2) «копий» чужих потенциалов на внешней границе ФТ может быть столько, сколько имеется между ними связей; 3) каждая копия имеет свой тип взаимодействия и ток, т.о., может быть много емкостей, индуктивностей и т.д.; 4) существуют ограничения на расстояние между двумя ФТ, порождающие связь, как первую копию данного связей данного типа, ограничение на расстояние, порождающее вторую связь того же типа, третью и т.д. вплоть до верхней границы допустимого числа копий данного типа взаимодействия.

Уровень макромоделли не предполагает изменение пространственных координат ФТ в процессе моделирования, т.к. это привело бы к изменению системы уравнений, описывающих движение объекта в пространстве и времени. Классические модели, рассматриваемые в САПР на уровне макромоделли, не зависимо от метода исследования (стационарный, переходный, резонансный), представляют собой модели с фиксированным числом ФТ при неизменных связях и КВ. Движение такой модели во времени – обычный процесс моделирования, т.е. решение систем уравнений макроуровня в том или ином режиме исследования. Собственно, вывод в новой П4 - это процесс моделирования, т.е. построение необходимого ЖЦ объекта по техническому заданию (ТЗ). Фактически, это – вывод в пространстве и времени при экспертном вводе модели движения ТФ на уровне макромоделли.

Модель объекта проектирования как специализированная нейронная сеть. Предложенная модель объекта проектирования, соответствующая физической семантике предметной области, может быть интерпретирована как специфическая нейронная сеть (НС), обеспечивающая возможность обучения и решения задач классификации. Предлагаемый подход к построению НС есть комбинация известных средств и методов построения НС, модифицированных для отображения специфики КМ: 1) Супервизорного обучения [11], т.е. обучения на примерах, при этом обучающие примеры есть результаты контрольных тестов схемы; 2) Модифицированного термодинамического подхода к построению НС [12], при этом: спины есть текущее направление течения тока между двумя ФТ, разделенными двумя разнонаправленными связями по данному типу КВ; интенсивность входа есть сила тока по данной связи; параметр «Т» рассматривается не как параметр микроуровня в методе статистической термодинамики, а действительно играет роль потенциала, т.е. является прямым аналогом температуры, как параметр макроуровня, где ФТ – это тепловые объекты с сосредоточенными параметрами; изменение спина, т.е. выбор активного направления тока из двух альтернативных, заданных данной парой связей, определяется функцией, содержащей значения параметров Т двух смежных ФТ.

При этом: 1) нейроны или узлы сети – это ФТ; 2) состояние ФТ характеризуется потенциалом; 3) узлы могут иметь один тип потенциала, если рассматривается одна предметная область, и - более одного типа потенциалов, если рассматривается более одной предметной области одновременно; 4) связи узлов представлены парой взаимоисключающих дуг разного направления; 5) множество связей является подмножеством отношения «каждый с каждым»; 6) выходные дуги нейронов – тормозящие, входные – возбуждающие; 7) дуги определяют взаимное влияние потенциалов; 8) влияние, передаваемое через дугу, есть сила тока; 9) порог возбуждения для срабатывания выхода отсутствует; 10) тип КВ (емкость и

т.д.), связанный с данной дугой, задает тип дуги, а значение КВ – вес дуги; 11) узлы – рецепторы т.е. ФТ, воспринимающие внешние воздействия, принадлежат внутренней границе блока; 12) узлы, не связанные с граничными блоками – это слой скрытых нейронов; 13) узлы, составляющие выходной слой, так же принадлежат внутренней границе блока; 14) активность дуги определяется текущим направлением тока; 15) уровень влияния, передаваемый через дугу, т.е. сила тока, рассчитывается по некоторой функции, вид которой соответствует типу дуги; 16) функции всех входных дуг, связанных с нейроном, принадлежат этому нейрону как блоку вычислительной алгоритмической сети; 17) обучение сети – это установление наличия, типа и значений КВ каждой дуги; оно может проводиться как экспертным путем, т.е. прямым вводом, так и автоматически; 18) автоматическое обучение может выполняться путем сужения интервалов значений КВ, используя метод ПрОг – на уровне количественной макромоделли; 19) деление на активные и пассивные связи, связывающих ФТ, относящихся к различным моментам времени, таково: активные связи – те, данные которых необходимы данному блоку-нейрону для работы функций, пассивные – данные которых не нужны; ток и КВ для таких связей не определены; 20) изменение спина в процессе моделирования - это инициирование на некотором шаге модельного времени одной из двух альтернативных связей, определяющих противоположенные направления токов по данной связи между двумя ФТ; ФТ имеет столько спинов, сколько имеется связей с различными ФТ; спин может быть статическим или динамическим.

К конкретным задачам исследования данной работы можно отнести: 1) определение специфики задач обучения и классификации в данной НС; 2) определение методов построения функций в НС, обеспечивающих решение задач обучения и классификации.

Решение задач и результаты исследований. *Специфика задачи классификации в НС.* Моделирование, т.е. синтез ЖЦ схемы по заданному ТЗ с точки зрения такой НС - это решение задачи классификации. Собственно синтез представляет собой процесс моделирования объекта с фиксированной структурой методом ПрОг с проверкой попадания всех заданных в ТЗ параметров в нужные моменты времени в нужные интервалы значений; если попадание обеспечено – задача классификации решена успешно. В составе ТЗ могут задаваться желаемые интервалы значений для потенциалов или токов, значений КВ с указанием тех связей, к которым это относится.

Специфика решения задачи классификации в данном случае такова. Рассматривается электрическая схема, при этом: нейроны – это ФТ, обладающие ПК в некотором евклидовом многомерном пространстве; структура сети - причинно-следственные связи между ФТ; параметры сети - потенциалы и токи, значения КВ (емкости, сопротивления, индуктивности), параметры источника (например, амплитуда, постоянная составляющая, частота); схема может исследоваться в трех режимах работы – стационарном, резонансном, переходном. В зависимости от режима работы схемы меняется задача классификации. Основным режимом, моделируемым данной КМ, является переходный процесс. Задача классификации в данном случае, с учетом того, что ЖЦ объекта представляет собой ряд равноотстоящих моментов времени – вплоть до момента, когда схема успокоилась, имеет такой вид: 1) входные параметры - составляют ТЗ, задающих состояние объекта в различные моменты времени; 2) выходные параметры - структура сети, параметры сети и состояние фазовых переменных в каждый момент времени.

Специфика задачи обучения НС. Общая подход к задаче обучения в нашем случае соответствует классическому подходу, т.е. выполняется многократный запуск примеров, как комбинаций входов и желаемых выходов схемы. Цель обучения - скорректировать веса связей в НС, а возможно - и структуру сети. Стандартный подход дообучения НС с минимизацией на каждом шаге разницы выходов с желаемым значением в данном случае модифицируется, исходя из специфических конкретных условий применения.

Методы представления функций и возможные алгоритмы обучения и классификации специализированной НС. Рассмотрим возможные методы задания функциональных зависимостей в НС, определяющие возможные алгоритмы обучения и классификации в НС. Существующие методы построения обычных НС обеспечивают обучение НС за один или много проходов, каждый раз однозначно определяя или переопределяя веса связей по результатам запуска примеров [11]. Обычным предполагается наличие некоторой стратегии, определяющей, веса каких связей необходимо изменять по результатам тестового примера и - как изменять. Такой подход позволяет в результате строить НС как обобщенные модели поведения. В настоящее время отсутствует целостная теория построения функциональных зависимостей, обеспечивающих обучение весов НС, оптимальные для решения данной задачи [12]. Как перспективный следует отметить путь построения нечетких, размытых НС. В этом случае обеспечивается многопроходное обучение сети, определяя требуемое подмножество дискретных значений сигналов в ходе обучения за счет примеров. Динамично развиваются методы построения гибридных НС, основанные на генетическом алгоритме, алгоритме муравьиной колонии, пчелиной семьи [13] и т.д.

Задача построения электрической схемы как нейронной сети имеет многочисленные решения. Рассмотрим наиболее типичные подходы. Например, в работе предлагается нейронная сеть, воспроизводящая входной сигнал, моделирующей процессы работы сетчатки глаза. НС строится с включением в нее электрической схемы, функционирующей в переходном режиме. Данная схема строится на основе эвристических методов построения электрических схем, обеспечивающие необходимую реакцию схемы на внешние воздействия. Для НС составляется компьютерная модель, которая с помощью перебора значений параметров схемы обеспечивалось наибольшее совпадение сигнала [14]. В работе [15] показано, что нейронные сети могут использоваться для предсказания поведения сложных электрических или механических систем, заданными эквивалентными схемами. Выделяются типы схем, отличающихся числом циклов и отличающиеся составом элементов циклов. Выделяются узлы схемы – точки стыков циклов. «Обобщенные» дуги НС, объединяют ряд обычных «внутренних» дуг и характеризуются взвешенными параметрами, на которые влияют значения всех внутренних компонентов сложной дуги. Это приводит к существенному упрощению модели схемы, реализующей уравнения Кирхгофа. В работе [16] отмечается перспективность пути построения электрических сетей как нечетких, размытых НС. Т.о., существуют многочисленные подходы к представлению электрических схем как НС, ориентированные на решение различных задач.

Предлагаемое решение. Отмечая несомненные достоинства нечетких НС, отметим, что на уровне макромоделей необходимо использовать либо непрерывные значения, либо интервалы непрерывных значений параметров. Соответственно, необходимо строить и непрерывные функциональные зависимости. В настоящее время существует целый класс методов работы с недоопределенными моделями, входящими в состав теории недоопределенного программирования [17], начиная от интервальной арифметики и заканчивая операциями со стохастическими интервалами. Существует ряд подходов реализации НС на том или ином классе недоопределенностей.

Автор исходит из утверждения, что наиболее гибкими и высокоэффективным методом построения функциональных зависимостей в КМ являются либо динамические недоопределенные вычислительные сети (ДНВС) [18], либо метод ПрОг. Данные методы являются базовыми методами задания функциональных зависимостей в рассматриваемой КМ. Рассмотрим варианты использования данных методов представления функций на уровне макромоделей. Базовым методом определения параметров НС при обучении и синтезе являются ДНВС в стиле Тыугу Э.Х. ДНВС обеспечивает возможность взаимного перерасчета пространственных координат ФТ, токов, потенциалов, напряжений и КВ по связям, а так же ограничений на возникновение связей. Метод обеспечивает обучение за

один проход, однозначно определяя параметры за счет использования примеров (от NIL к конкретным значениям). В более сложных случаях, когда возможностей ДНВС оказывается недостаточно, может применяться метод ПрОг (Нариньяни А.С.), т.н. Н-модели, являющийся обобщением метода ДНВС [18]. ПрОг допускает обучение за много проходов, монотонно сужая интервалы значений параметров в вычислительной сети. Результирующие интервалы значений должны удовлетворять всем введенным тестовым примерам. В качестве интервалов могут использоваться погрешности измерений, влияющие на результаты расчетов. Модель в любой форме представления (ДНВС или ПрОг) явно включает все возможные пути перерасчета сигналов. В том и другом случае выполняется монотонный вывод, который не приводит к увеличению неопределенности.

Задача обучения НС как ввод тестовых примеров. Обучающие примеры НС - это экспериментальные данные, представленные либо как информация о состоянии объекта в отдельный момент времени, либо в различные моменты времени, связанные в ЖЦ. Обучающие примеры или ТЗ могут включать: факт наличия связи некоторого типа между двумя ФТ с указанием (возможно, но не обязательно): значения тока, значения КВ, значения потенциала данной ФТ, значение напряжения по данной связи. Т.о., тестовый пример предполагает наличие некоторой базовой структуры НС. Каждое вводимое значение задается либо как двустороннее ограничение (интервал), либо одностороннее ограничение (полуинтервал), либо значение - константа. NIL - это полная неопределенность, т.е. «плюс - минус бесконечность», определяемая для всех параметров модели первоначально.

Методы решения задачи обучения специализированной НС. Обучение эквивалентной схемы по тестовым последовательностям фактически есть способ обобщения экспертных, экспериментальных знаний об объекте проектирования. Данный способ можно применять в случае, если имеется требуемая схема объекта проектирования, но не ясно, какими должны быть параметры модели объекта. Предлагаемый общий алгоритм обучения: 1) из множества возможных схем выбрать некоторую схему НС, соответствующую по структуре требованиям тестового примера; 2) обучать схему, пока она успешно обучается, т.е. параметры НС монотонно сужаются; 3) если схема не обучается – переходим к другой допустимой структуре модели и переучиваем ее заново.

Схема успешно обучается, если отслеживаемые интервалы значений КВ монотонно сужаются – это признак успешного обучения, исходя из принципов ПрОг. Причина переучивания: изменение модели предполагает ввод новых связей, соединяющих ФТ, построенных, возможно, в параллель к существующим связям; возникновение новой связи по отношению к «старым» связям с любым типом и значением КВ приведет к изменению алгоритма работы блока. Т.о., «старые» тестовые примеры уже не будут работать, схему нужно переучивать заново. Изменять модель при синтезе нельзя, ее можно уточнять только при обучении. Если после обучения некоторые КВ для задействованных в модели связей оказались не определены (NIL), то сеть считается недоученой и не может использоваться для синтеза моделей. Дообучение - это ввод нового примера работы той же системы, позволяющий доопределить параметры, оставшиеся неопределенными после ввода предыдущего примера.

Построение необходимой НС при обучении представляет собой комбинацию двух процессов: 1) Процесс моделирования по методу ПрОг объекта с фиксированной структурой с целью пересчета интервалов значений параметров модели по обучающим выборкам и, в частности, рассчитывать значения КВ по заданным системам функциональных зависимостей, включающим обычные компонентные и топологические уравнения; 2) Процесс смены неудачной структуры, не поддающейся обучению.

Рассмотрим возможности и области применения обеих процессов.

Процесс моделирования по методу ПрОг. Каждая новая волна пересчета, имеющая место в потоковом алгоритме Нариньяни, являющимся основой метода ПрОг, приводит к

переучиванию весов всех попавшихся связей, т.е. к изменению их КВ, так - и к изменению соответствующих ограничений по токам и напряжениям. Т.о., каждая волна есть аналог модификации весов в сети при использования обучающего примера в классических НС. Погрешности измерения, свойственные обучающим примерам, определяют минимально возможные интервалы значений КВ по всем связям.

Рассмотрим детально возможные пути простой смены структур. Имеется два пути.

1) Возможен чисто технический подход к изменению схемы, т.е. можно вносить в нее связи, позволяющие скорректировать поведение схемы в нужном направлении по итогам тестовых примеров. Например, добавлять сопротивление между двумя данными ФТ, если напряжение между данными точками меньше требуемого значения и т.п. Такой подход соответствует экспертному изменению схемы, т.е. наличию соответствующей продукционной базы знаний. Некорректные ситуации могут выделяться из текста описания ЖЦ на формальном языке спецификаций, полученного путем моделирования, с помощью посылок соответствующих продукций, а затем по выводу продукций может выполняться соответствующая модификация схемы. Т.о., тут имеет место подход, описанный автором ранее как способ построения ЦПС, ориентированный на высококвалифицированного пользователя, способного явно описывать методики проектирования [19].

2) Если соответствующие решения уже ранее были получены и систематизированы в рамках ЦПС соответствующего блока, то поиск следующей схемы выполняется простым перебором прототипов из множества ЦПС. Второй подход соответствует автоматическому построению ЦПС путем обобщения ряда типичных решений, описанный автором в [20]. В рамках данного подхода возможно два пути: во-первых, формирование решения с определенными значениями КВ и , во-вторых, без определенных значений КВ.

Выводы. В работе предложен новый подход к представлению эквивалентной электрической схемы объекта проектирования, построенной в рамках предлагаемой КМ на уровне макромоделей, как специфической НС. Процесс обучения трактуется как обобщение знаний о ЖЦ модели объекта проектирования, вводимой экспертным путем, а задача классификации – как вывод в рамках процедуры П4 СМ САПР, построенной как САПР решения типичных задач проектирования. Предложенный подход обеспечил: 1) построение формального описания процедуры П4 СМ САПР, обеспечивающий вывод при экспертном задании модели объекта проектирования на уровне макромоделей; 2) гибкость модели САПР, возможность решать задачи в новой постановке, в частности, построение эквивалентных схем путем обучения, задания желаемых интервалов значений параметров при исследовании модели в переходном режиме и т.д. Как перспективная задача исследования может рассматриваться задача доказательства существования решения задачи обучения в более общей постановке.

Литература

1. Григорьев А.В. Унифицированная концептуальная модель предметной области. В кн. Информатика, кибернетика и вычислительная техника (ИКВТ-97). Сборник трудов ДонГТУ, Выпуск 1. Донецк: ДонГТУ, 1997. С.218-224.

2. Солодовников В.В., Тумаркин В.И. Теория сложности и проектирование систем управления. - М. Наука. 1990. - 186 с.

3. Григорьев А.В. Представление недоопределенности знаний в инструментальной оболочке для построения САПР. Искусственный интеллект. № 6, 1999, С. 56-66.

4. Григорьев А.В. Комплекс моделей САПР как система взаимосвязанных уровней знаний о действительности. Научные труды Донецкого государственного университета. Серия "Информатика, кибернетика и вычислительная техника", (ИКВТ-2000) выпуск 10. - Донецк, ДонГТУ, 2000. - С. 155-167.

5. Григорьев А.В. Организация пространства поиска решений в специализированной оболочке для построения интеллектуальных САПР. Вісник ТРТУ - ДонДТУ. Матеріали Другого Міжнародного семінару "Практика і перспективи розвитку іноваційного партнерства", Донецьк, ДонДТУ, 2001, N 1. - С. 57-67.

6. А.В. Григорьев. Методы построения функций в специализированной оболочке для создания интеллектуальных САПР. Искусственный интеллект. N 3, 2001, С. 40-53.

7. Григорьев А.В., Бондаренко А.В., Шойхеденко А.В. Интерфейс табличного процессора EXCEL и специализированной оболочки для синтеза интеллектуальных САПР и АСНИ. Там же. С. 229-238.

8. Григорьев А.В. Решение дифференциальных уравнений в интеллектуальных САПР методом программирования в ограничениях. В кн. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 70. Серія: "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка": - Донецьк: ДонНТУ, 2003 - С. 108-116.

9. Григорьев А.В. Построение макромодели на количественном уровне моделирования в концептуальной модели инструментальной оболочки для построения интеллектуальных САПР // Научно-практический журнал "Искусственный интеллект" №.1, 2007. - С. 20-31.

10. Григорьев А.В. Управление движением объектов в семиотической модели предметной области. Наукові праці національного технічного університету. Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація». Випуск 48: Донецьк: ДонНТУ, 2002. - С.280-287.

11. Кричевский М.Л. Интеллектуальные методы в менеджменте. - СПб.: Питер, 2005. - 304 с.

12. Л.Г. Комарцова, В.В. Воеводин. Нейросетевые методы эффективного поиска релевантной информации в сети Интернет. Десятая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2006 (25-28 сентября 2006 г., г. Обнинск). Труды конференции. В 3-т. Т.2. - М: Физматлит, 2006. С. 626-634.

13. P.F. Ribeiro, W.K. Schlansker. A Hybrid Particle Swarm and Neural Network. Approach for Reactive Power Cjntrol. // search.cpan.org/src/KYLESCH/AI-PSO-0.81/ReactivePower-PSO-wks.pdf.

14. С.А. Гладилин, Д.Г. Лебедев. Нейронная сеть, воспроизводящая выходной сигнал ганглиозной клетки. // Информационные процессы. Т.5, № 3, 2005, С. 258-264.

15. R.C.Gupta. Predicting response-function results of electrical/mechanical systems through artificial neural network.

16. Nooralahiyan, A.Y., Hoyle, B.S., Bailey, N.J. Neural network for pattern association in electrical capacitancetomography. Circuits, Devices and Systems, IEE Proceedings - Volume 141, Issue 6, Dec 1994 Page(s): 517 – 521.

17. Лю Б. Теория и практика неопределенного программирования. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2005. – 216 с.

18. Нариньяни А.С., Телерман В.В., Ушаков Д.М., Швецов И.Е. Программирование в ограничениях и недоопределенные модели. Информационные технологии. - Москва, "Машиностроение". 1998, N 7. С. 13-22.

19. Григорьев А.В. Классификация типов продукций в интеллектуальных САПР / Наукові праці національного технічного університету. Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація». Випуск 88. –: Донецьк: ДонНТУ, 2005. – с. 99-105.

20. Григорьев А.В. Специфика выполнения теоретико-множественных операций над контекстно-свободными грамматиками в условиях различных форм дополнительных семантических правил в семиотической модели интеллектуальных САПР / Научные труды Донецкого национального технического университета. Серія «Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем» (МАП – 2006). Випуск 5 (116). – Донецьк: ДонНТУ, 2006. – С. 91-104.