

УДК 004.624

DOI 10.18698/0536-1044-2017-7-60-71

Sprut ExPro — средство генерации многоагентных систем проектирования в машиностроении. Часть 2

Г.Б. Евгеньев

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Sprut ExPro — A Means of Generating Multi-Agent Design Systems for Mechanical Engineering. Part 2

G.B. Evgenev

BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1



e-mail: g.evgenev@mail.ru

i Трудоемкость и стоимость проектирования, как и качество его результатов, определяются объемом и глубиной инженерных знаний, заложенных в компьютер. Многоагентная технология компьютеризации инженерной деятельности позволяет специалисту, не обладающему глубокими познаниями в информатике, без помощи программистов создавать для себя и своих коллег специализированные рабочие места. При этом инженерная деятельность претерпевает качественные изменения: специалист вводит в компьютер данные технического задания и наблюдает за процессом генерации проекта, принимая принципиальные творческие решения путем выбора из вариантов, предлагаемых компьютером. Подобные системы с полным основанием можно отнести к принципиально новой категории полуавтоматических систем проектирования. Изложены теория и практика генерации многоагентных систем. Представлены искусственные агенты для генерации 3D-моделей и методы реализации комплексных агентов. Рассмотрены многоагентные системы как средство интеграции программных комплексов. Описаны методы структурного синтеза в многоагентных системах, а также создания систем полуавтоматического проектирования.

Ключевые слова: искусственный интеллект, многоагентная методология, инструментальные программные средства, интеллектуальные системы проектирования

i The complexity and cost of design, as well as the quality of results, is determined by the volume and depth of the engineering knowledge, embodied in the computer. Multi-agent engineering computerization technology enables specialists, who do not have deep knowledge in computer science, to create specialized automated workplaces for themselves and their colleagues. In this case, the engineering work is undergoing a qualitative change: the designer inputs initial data into the computer and monitors the project generation process, making key creative decisions by choosing from the options offered by the computer. Such systems can justifiably be classed as an entirely new category of semi-automated design systems. The theory and practice of generating multi-agent systems are described. Artificial agents for generating 3D models, and implementation methods for complex agents are presented. Multi-agent systems are considered as a means of integrating software packages. Methods of structural synthesis in multi-agent systems and methods of creating semi-automatic design systems are described.

Keywords: artificial intelligence, multi-agent methodology, software tools, intelligent design systems

Продолжим рассмотрение принципов дальнейшего развития систем автоматизации в машиностроении на основе интеграции, интеллектуализации и индивидуализации [1, 2], начатое в первой части статьи. Интеграция позволяет ликвидировать перекодировку информации при переходе от одной фазы жизненного цикла изделия к другой. Интеллектуализация дает возможность сократить трудоемкость проектирования путем повышения уровня автоматизации систем и их преобразования из пассивного инструмента в руках специалиста в его активного партнера, обеспечивающего автоматическое принятие решений и генерацию там, где это возможно, проектов изделий в целом или их узлов, а также технологических процессов их изготовления. Индивидуализация призвана преобразовать системы автоматизации из обезличенного программного продукта в персональное программное средство, наполненное без помощи программистов индивидуальными знаниями экспертов.

Перечисленные концепции можно реализовать с помощью теории многоагентных систем (МАС) [3]. Многоагентным технологиям создания различных систем искусственного интеллекта уделяется значительное внимание за рубежом. В сентябре 2015 г. прошла 13-я Германская конференция, посвященная этой теме [4], имевшая цель развивать междисциплинарную связь между теорией и приложениями интеллектуальных агентов и МАС.

В статье [5] отмечено, что многоагентные программные средства традиционно рассматривают как промежуточные, позволяющие решать различные вспомогательные проблемы прикладных систем. В научных трудах [6–8] представлены многоагентные методы решения различных проблем в прикладных системах. Данная работа принципиально отличается от упомянутых публикаций, так как в ней много-

агентная методология изложена как всеобъемлющий подход к созданию прикладных систем.

В первой части статьи были рассмотрены концепция многоагентной методологии и архитектура искусственного агента (ИА), а также концептуальная блок-схема и базовые механизмы простого ИА.

Цель работы — описание МАС с использованием средств генерации 3D-моделей, комплексных ИА, средств интеграции программных комплексов, методов структурного синтеза и полуавтоматического проектирования.

Агенты, обеспечивающие генерацию 3D-моделей. Создание интеллектуальных систем проектирования изделий является важным направлением совершенствования инженерной подготовки машиностроительного производства [9, 10]. Использование таких систем дает возможность повысить производительность и качество работы конструкторов путем полуавтоматической генерации 3D-моделей изделий в условиях типового вариантного проектирования. К такому типу проектирования относится создание объектов электромашиностроения, электромеханических приводов и т. п.

Высший уровень автоматизации в этой области способны обеспечить системы полуавтоматического проектирования, позволяющие на основе введенного технического задания проводить все необходимые расчеты, а также генерировать 3D-модели и полный комплект конструкторской документации.

Для представления концептуальной модели комплексных модулей знаний (МЗ) и баз знаний, состоящих из некоторого множества многоагентных модулей, можно использовать стандарт IDEF0. Модель IDEF0 для ИА, обеспечивающих генерацию 3D-моделей, представлена на рис. 1, где входными данными являются инженерные знания. При генерации 3D-модели

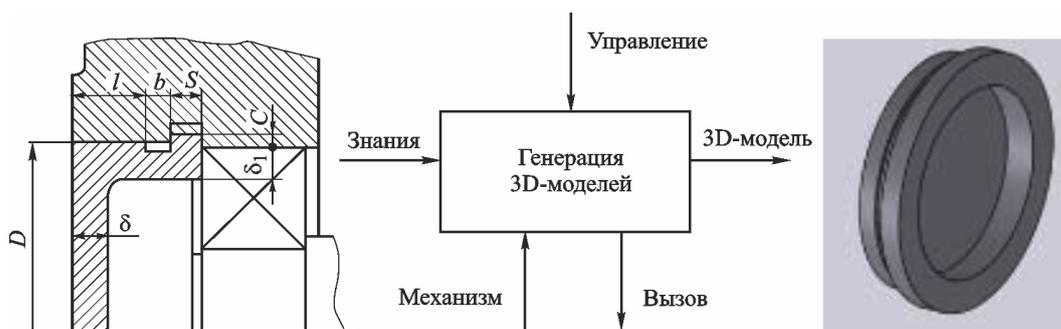


Рис. 1. Концептуальная модель модуля знаний 3D-моделирования

удобно использовать бланк-чертеж с простановкой размеров в виде идентификаторов.

На выходе после получения фактических значений переменных для конкретного экземпляра изделия с помощью механизмов, описанных в работах [11–14] формируются необходимые 3D-модели деталей и сборочных единиц.

Интерфейс модуля базы знаний в системе Sprut ExPro, обеспечивающий генерацию 3D-модели глухой крышки подшипника, приведен на рис. 2. В качестве CAD-системы использована среда SolidWorks.

Многоагентные и экспертные системы. Широкое использование технологий искусственного интеллекта началось в середине 1970-х годов, когда появились первые системы, основанные на знаниях, или экспертные системы (ЭС).

При построении ЭС были учтены результаты предшествующих исследований в области искусственного интеллекта, что определило успехи их практического применения. Важнейшим из этих достижений является положение, согласно которому мощность ЭС в первую очередь обусловлена мощностью базы знаний, содержащей правила принятия решений, и только во вторую — методами логического вывода, основанными на этих правилах.

Большая часть экспертных систем базируется на понятии «формальная продукционная система». Психологические исследования процессов принятия решений человеком показали,

что, рассуждая, он использует правила, аналогичные продукциям, т. е. правила вида «условие–действие».

На основании изложенного можно констатировать, что ИА представляет собой разновидность продукции. Продукционную систему принято определять следующим образом:

$$PS = \langle F, P, I \rangle,$$

где PS — продукционная система; F — рабочая память системы, включающая в себя текущие данные; P — база знаний, содержащая множество продукции (правила вида «условие–действие»); I — интерпретатор (решатель), реализующий процедуру вывода.

Рабочая память системы F представляет собой внутреннюю среду ИА или базу данных, а база знаний P — множество ИА. Решатель I используется при построении комплексных ИА.

Таким образом, МАС является разновидностью систем продукционных PS .

Реализация комплексного агента в системе Sprut ExPro. Разработка любой сложной системы, в том числе программной, должна начинаться с функционального анализа и моделирования системы в целом и всех ее подсистем вплоть до неделимых элементов, которыми в данном случае являются простые ИА.

Обозначив векторы входных и выходных переменных как $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ и $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$, а вектор-функцию, реализуемую

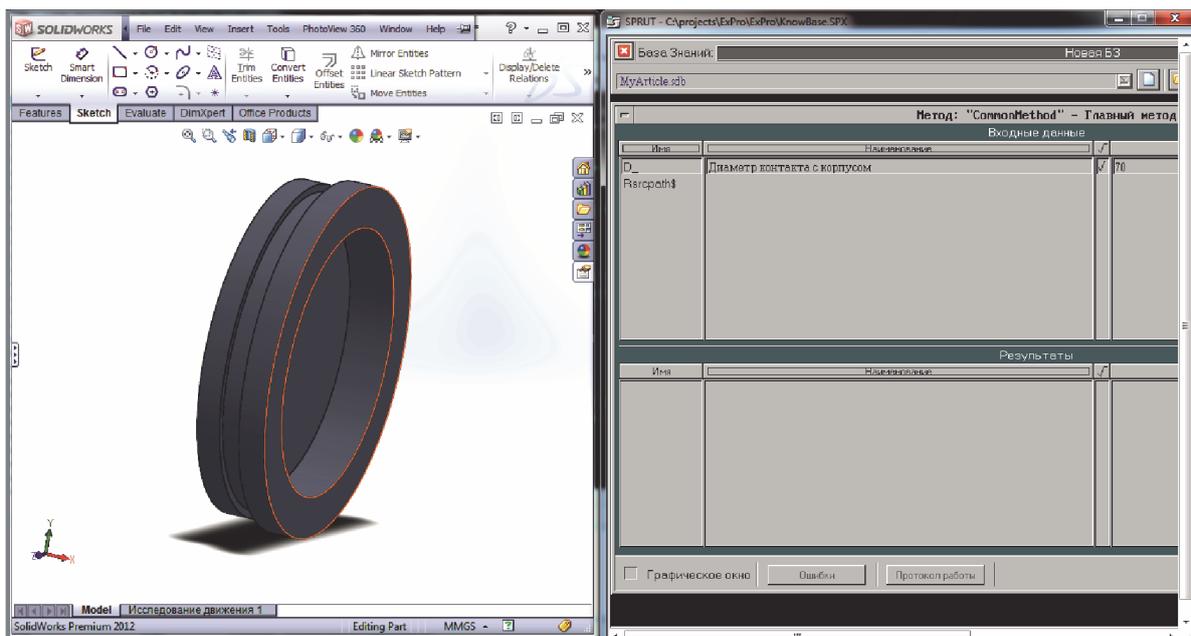


Рис. 2. Модуль системы Sprut ExPro с геометрическими знаниями

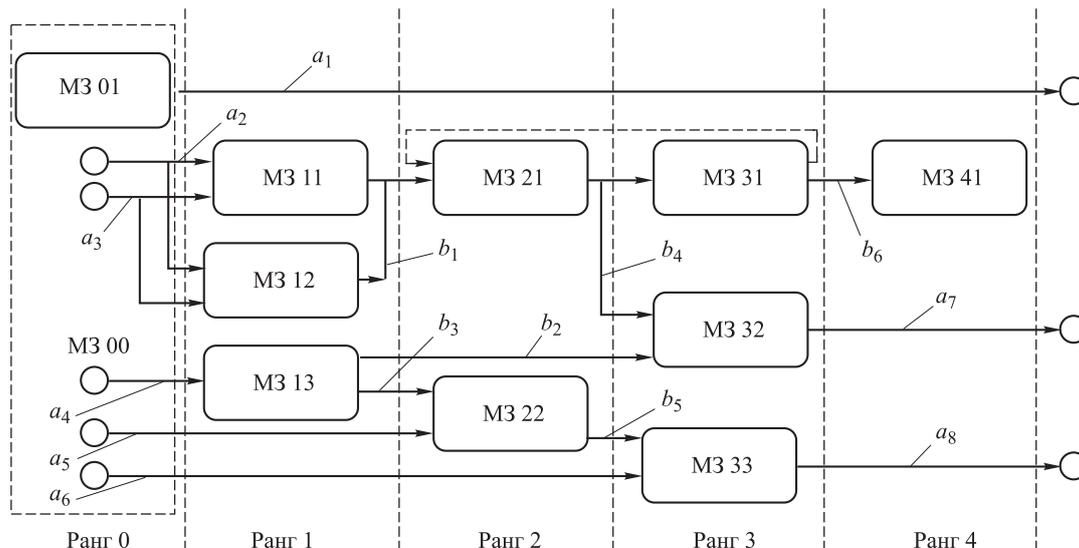


Рис. 3. Ранжированная семантическая сеть МЗ:

a_1 – a_6 — входные переменные; a_7 – a_8 — выходные переменные; b_1 – b_6 — промежуточные переменные

механизмом ИА, как F , получим выражение объект-функции, эквивалентное традиционному математическому

$$Y = F(X).$$

Однако в отличие от математических функций, допускающих использование в качестве переменных только числовые величины, объект-функциями могут быть как числовые, так и нечисловые переменные.

При построении диаграмм в IDEF0 функциональные блоки соединяются стрелками, идущими от выхода одного блока к входу и (или) управлению другого. Такая диаграмма с точки зрения искусственного интеллекта представляет собой семантическую сеть, т. е. граф с помеченными с помощью идентификаторов или наименований вершинами (объект-функциями) и ребрами. С математической точки зрения диаграмма эквивалентна сложной функции

$$Y = \Phi(F_1(X_1), F_2(X_2), \dots, F_k(X_k)).$$

Семантическая сеть МЗ представляет собой ациклический ориентированный граф (рис. 3). Ациклическость необходима для выполнения семантической сетью ее функционального назначения — определения значений выходных переменных по заданным входным. Наличие циклов в сети блокирует возможность нахождения значений всех или части искомым переменных. Например, присутствие обратной связи между модулями МЗ 21 и МЗ 31, показанной на рис. 3 штриховой линией, не позволит запустить МЗ 21, так как для его выполнения по-

требуется значение выходной переменной МЗ 31, для загрузки которого, в свою очередь, необходимы результаты МЗ 21. В итоге не будут запущены зависящие от них МЗ 32 и МЗ 41.

Ранжирование МЗ проводится однократно при формировании сети. В дальнейшем ранги используют как метазнания для логического вывода на сети. Модули запускаются в порядке возрастания их рангов, причем МЗ нулевого ранга — без проверки предусловий. Далее выполняется проверка предусловий модулей ранга 1 и запускаются механизмы тех МЗ, предусловия которых удовлетворены.

Наличие либо отсутствие альтернативных решений обусловлено тем, является логический узел типа ИЛИ исключающим либо не исключающим. Это в свою очередь зависит от того, пересекаются или не пересекаются области определения этих модулей, описанные в предусловиях.

Модули рангов 2 и 3 на рис. 3 формируют два логических узла типа И. МЗ, образующие такой узел, должны принадлежать к подмножеству одного ранга и не должны иметь общие выходные переменные. Подмножество ранга 1 можно представить в виде логического выражения $(МЗ 11 \vee МЗ 12) \wedge МЗ 13$. Узлы типа И не порождают альтернативные решения. Все модули, входящие в состав таких узлов, должны быть запущены на исполнение, потому что они определяют разные переменные. Подмножества различных рангов связаны логическим элементом И, так как для решения задачи они все должны быть выполнены.

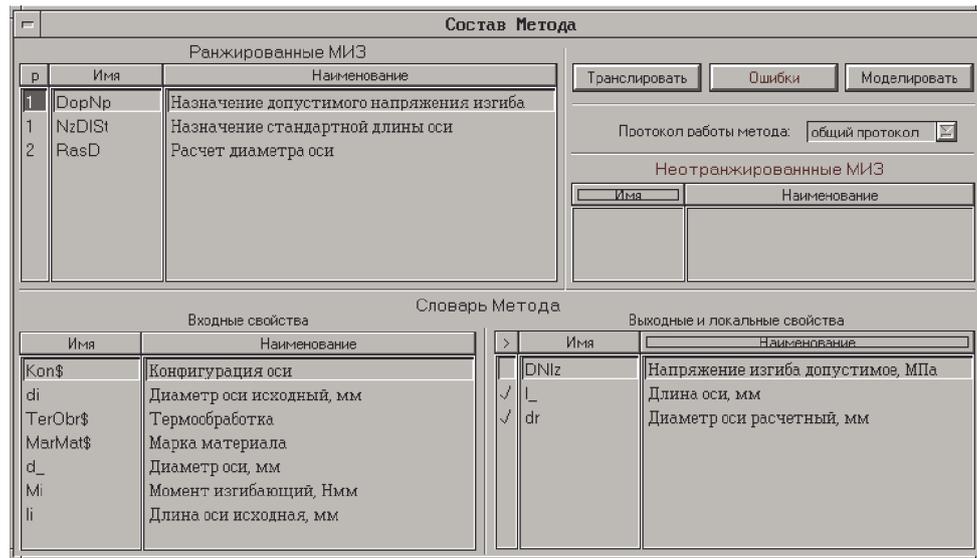


Рис. 4. Интерфейс генерации комплексного ИА

Существуют два основных типа стратегии управления: безвозвратный и пробный. В безвозвратном режиме управления выбирается применимое правило и используется необратимо без возможности пересмотра в дальнейшем. В экспертном программировании применяется такой режим.

При экспертном программировании формирование МЗ, их трансляция с получением на одном из традиционных языков объектных или исполняемых модулей и тестирование проводятся как одна операция. После получения необходимого набора МЗ осуществляется генерация метода, использующего подмножество созданных модулей. Метод генерируется с помощью того же языка, что и МЗ, и представляет собой скомпилированную реализацию решателя для данного набора МЗ. В скомпилированном механизме выбора производственных правил применяется схема управления, подобная сети Петри. Процесс планирования и разрешения конфликтов использует условия запуска МЗ. Программный модуль, соответствующий МЗ, исполняется, если имеются значения всех входных и управляющих переменных и выполнено условие его применения.

Сгенерированный метод можно задействовать в качестве механизма МЗ, что позволяет использовать иерархию правил.

Чтобы генерируемые методы, согласно теореме о структурировании, могли решать любые задачи программирования, в них должны быть реализованы три базовые структуры: следование, альтернатива и один из циклов. В эксперт-

ном программировании следование МЗ определяется последовательностью вычисления переменных, а альтернатива — условиями, заложенными в МЗ. Для формирования циклов введена выделенная переменная «конец цикла» (Fincalc), при появлении которой система генерирует циклический метод, выполняемый до тех пор, пока Fincalc, которому предварительно присвоен нуль, не станет равен единице. Один метод может содержать только один цикл. Тело цикла включает в себя модули ранга 1 и более. Модули ранга 0 обеспечивают начальные установки значений переменных и в цикле не исполняются. Возможность использования методов в качестве механизмов МЗ позволяет получать как последовательности циклов, так и программы с вложенными циклами.

На рис. 4 представлен интерфейс Sprut ExPro при генерации комплексного ИА.

Окно «Состав Метода» содержит:

- список ранжированных модулей инженерных знаний (МИЗ), создающих семантическую сеть этого метода;
- список неотранжированных МИЗ т. е. модулей, исключенных из семантической сети метода из-за того, что их свойства образуют замкнутую петлю и МИЗ нельзя отранжировать;
- «Словарь Метода», включающий в себя «Входные свойства» и «Выходные и локальные свойства». Входные свойства формируются автоматически в процессе компоновки этого метода. Остальные свойства, вычисляемые МИЗ, могут быть либо локальными, либо выходными. Перевод выходного свойства в локальное

осуществляется установкой или снятием значка «✓» в столбце «>».

Кнопки управления (см. рис. 4) выполняют следующие функции:

- «Транслировать» — транслирует метод в текст исполняемой программы на выбранном языке. Программа генерируется в каталоге текущей базы знаний, в файле с именем метода и расширением prt;

- «Ошибки» — открывает список ошибок, возникших при трансляции метода;

- «Моделировать» — переход на экран моделирования работы метода;

- «Протокол работы метода» — позволяет установить уровень формирования такого протокола:

без протокола — при работе метода протокол не формируется;

протокол работы — в протокол будут заноситься только выполненные МИЗ метода;

общий протокол — в протокол будут заноситься все действия при исполнении метода.

В процессе работы метода формируется протокол его работы (рис. 5), просмотр которого осуществляется по нажатию на кнопку «Протокол» в открывшемся окне «Протокол работы метода».

На рис. 5 представлен фрагмент протокола работы метода с именем PrAxle, предназначенного для проектирования осей. В начале протокола отображены следующие входные данные: конструкция оси — сплошная, исходный расчетный диаметр оси 8 мм, термообработка — улучшение, марка материала — сталь 45, ре-

зультирующий диаметр оси 8 мм, изгибающий момент 300 Н·м, исходная длина оси 47 мм. Первым выполнен модуль с именем DopNr, с помощью которого было назначено допустимое напряжение изгиба DNlz, равное 0,85.

Генерация дорожных карт в системе Sprut ExPro. Реализация комплексных ИА в системе Sprut ExPro связана с генерацией дорожных карт. *Дорожная карта (technology road-mapping)* — это наглядное представление пошагового сценария развития определенного объекта, в частности механизма комплексного ИА. Дорожное картирование увязывает между собой видение, стратегию и план развития системы и выстраивает во времени основные шаги этого процесса по принципу «прошлое–настоящее–будущее».

Дорожные карты нацелены на информационную поддержку процесса принятия управленческих решений по реализации механизма объекта картирования. В Sprut ExPro дорожные карты представляют собой ранжированные семантические сети МЗ (см. рис. 3). Такие сети в явном виде выстраивают во времени основные шаги этого процесса по принципу «прошлое–настоящее–будущее».

МАС как средство интеграции программных комплексов. На рис. 1, описывающем функциональный блок IDEF0, помимо стрелки, направленной к функциональному блоку «Механизм» и поддерживающей выполнение функции, имеется стрелка «Вызов». Стрелки

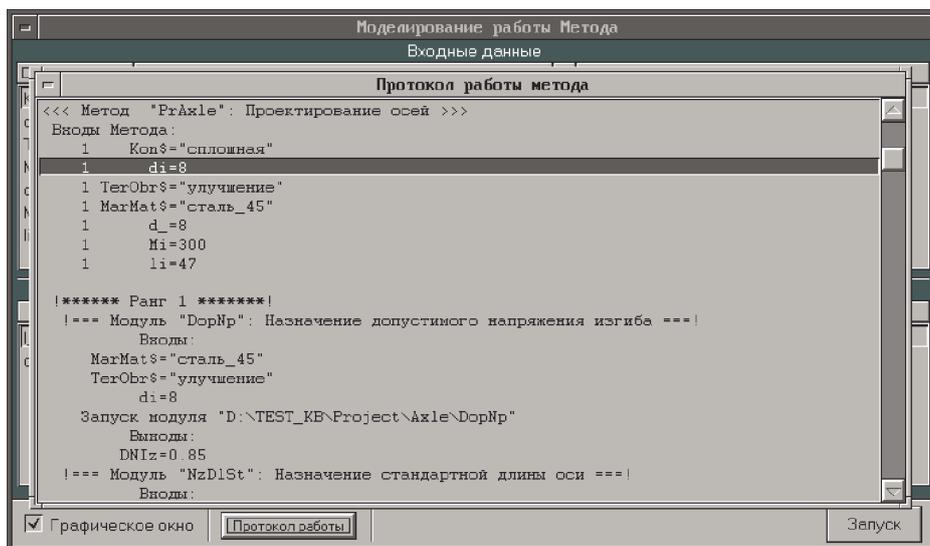


Рис. 5. Протокол работы метода

МЗ: " RsDP " — Расчет дальности полета Предусловия запуска

имя	наименование	тип	условие
m	Масса, кг	REAL	1

Входные свойства

имя	наименование	тип	значение
V0	Скорость начальная, м/мин	REAL	(0,)
Teta0	D отверстия	REAL	(0,1.57)
g	Ускорение, м/сек ²	REAL	100

Механизм — DLL-модуль

Имя файла DLL-модуля: [каталог ресурсов\pol.dll](#)

Согласование PRT-переменных и свойств МИЗ

V0	вход	V0_
Teta0	вход	Teta0
g	вход	g_
x	выход	x_
y	выход	y_

Выходные свойства

имя	наименование	тип	значение
x	Дальность полета, м	REAL	
y	Высота полета, м	REAL	

Рис. 6. Текстовое представление МЗ для решения системы дифференциальных уравнений

«Вызов» обозначают обращение из данной модели к блоку, входящему в состав другой модели или ее части, обеспечивая их связь, т. е. разные модели или части одной и той же модели могут совместно использовать один и тот же элемент (блок).

MAC, например, непригодны для моделирования непрерывных задач, описываемых системами дифференциально-алгебраических уравнений. Для решения таких задач необходимо включить в состав MAC инструментальное средство, обладающее возможностями генерации упомянутых моделей.

В наибольшей мере этим требованиям отвечает программный пакет Model Vision Studium (MVS) [13]. Основным элементом языка MVS является активный динамический объект, обеспечивающий моделирование не только непрерывного поведения, но и дискретного (или гибридного) [13]. Текстовое представление математического МЗ, использующего MVS, приведено на рис. 6. МЗ с идентификатором **RsDP** предназначен для расчета дальности полета тела единичной массы, брошенного под углом к горизонту Teta0 со скоростью V0. Скорость должна превышать нуль, а угол — находится в пределах $0 \dots \pi/2$.

После запуска соответствующего программного средства пользователь применяет его интерфейс. На рис. 7 показано окно редактора формул для представления системы уравнений тела единичной массы, брошенного под углом к горизонту, в скалярном виде на входном языке пакета MVS.

Методы структурного синтеза в MAC. Для проведения структурного синтеза в процессе проектирования конкретных объектов необходимо построить И/ИЛИ-граф метасистемы (концептуальный), содержащий все возможные

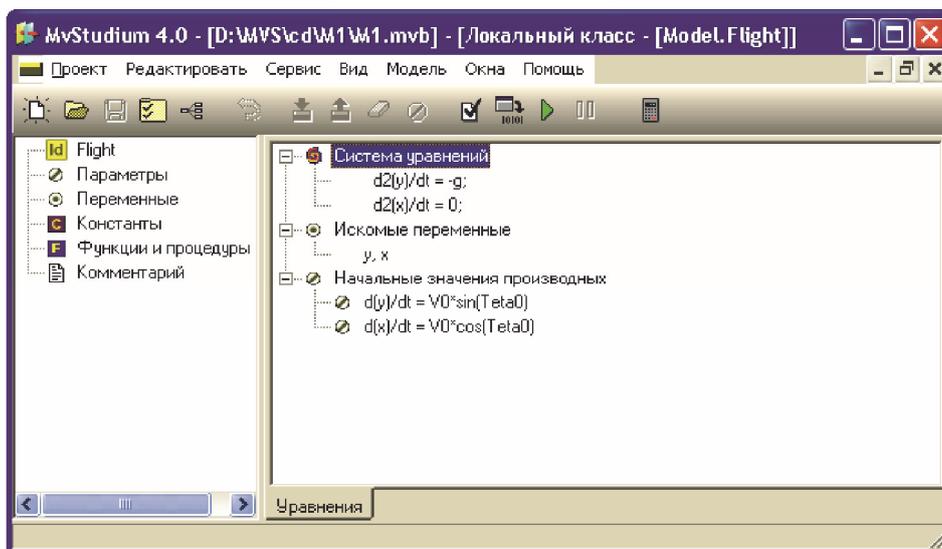


Рис. 7. Окно редактора формул пакета MVS

альтернативы создания принципиальных схем изделия [15]. Применительно к проектированию штампов для листовой штамповки такой граф представлен на рис. 8.

Технические решения функциональных узлов, как правило, имеют альтернативы, приводящие к возникновению ИЛИ-вершин. По тех-

ническому признаку различают штампы простого, совмещенного и последовательного действия, по количеству и расположению направляющих узлов — с диагональным, осевым и задним расположением двух узлов, а также с четырьмя узлами. Направляющие узлы штампов подразделяют на плоские и цилиндриче-

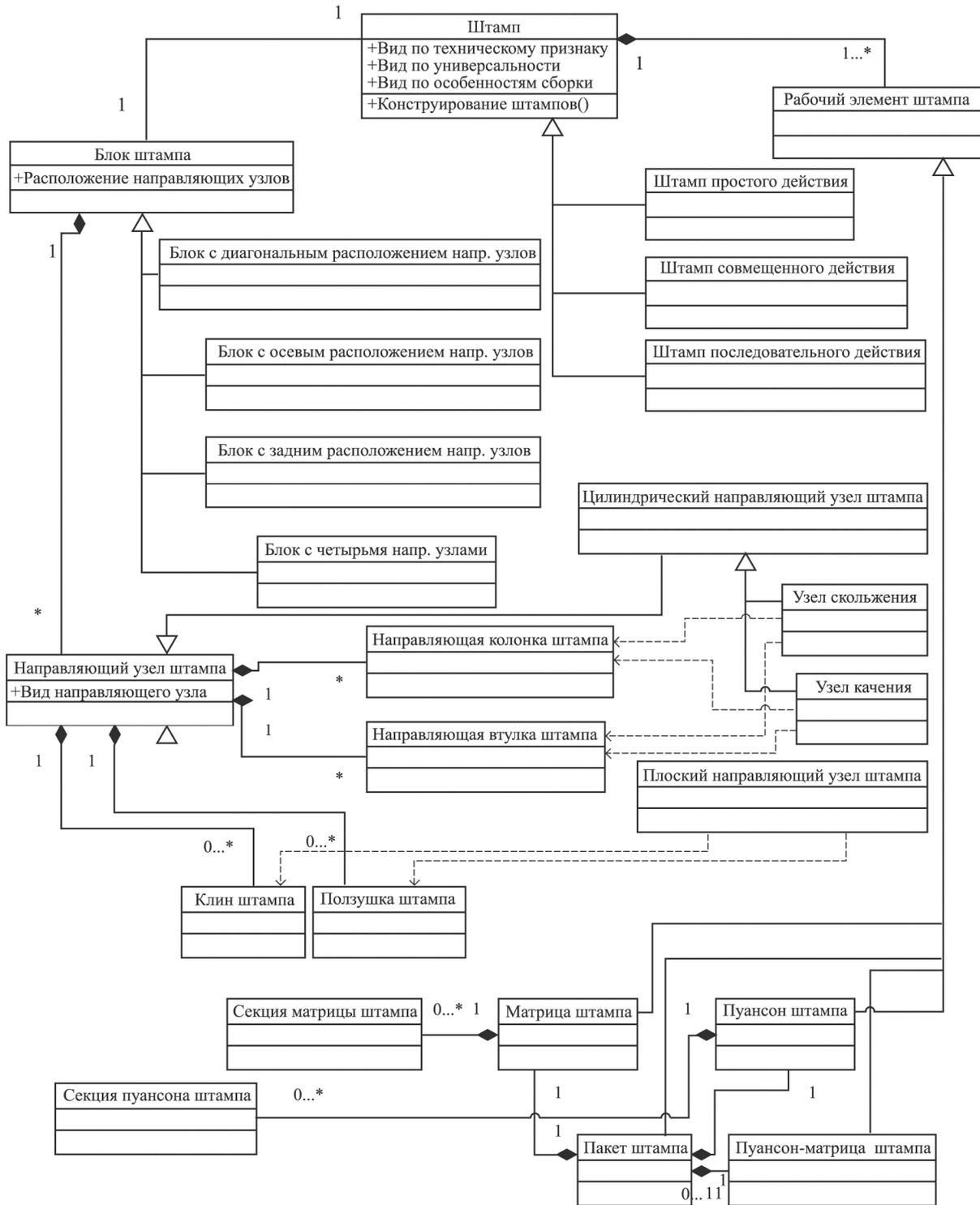


Рис. 8. И/ИЛИ-граф метасистемы проектирования штампов

ские. Цилиндрические узлы имеют две разновидности — скольжения и качения.

Структурный синтез при проектировании заключается в выборе одного решения для каждой ИЛИ-вершины. Выбор осуществляется либо автоматически с использованием однозначной объект-функции, либо с помощью человека, которому предлагаются варианты, допустимые в соответствующих условиях.

Модульный подход при проектировании существенно облегчает решение задачи его автоматизации. Каждый модуль имеет унифицированную параметризованную геометрическую модель, параметры которой хранятся в базе данных. При этом оригинальному проектированию подвергаются нестандартные компоненты. Применительно к штампам — это заготовки (раскрой материала).

МАС полуавтоматического проектирования.

На рис. 9 приведена схема интерфейса при функционировании полуавтоматической си-

стемы в процессе проектирования одноступенчатого редуктора [10]. На входе системы имеется техническое задание (в состав которого могут входить различные параметры), формируемое с использованием соответствующего окна. На рис. 9 показан вариант простого задания, включающего в себя значения момента вращающего на выходном валу (Н·м) и частоты вращения на выходе (об/мин), а также ресурс передачи (ч) и количество изделий.

Управление процессом проектирования осуществляется с помощью ответов на вопросы с заданной номенклатурой вариантов значений, выводимых базой знаний. В левом верхнем окне (см. рис. 9) разработчику предоставляется возможность выбора электродвигателя из подмножества таких устройств, имеющих в базе данных и способных обеспечить выполнение технического задания по мощности и частоте вращения. В среднем и правых верхних окнах можно выбрать вид зуба колес (прямой, косой или шевронный) и термообработки, в левом

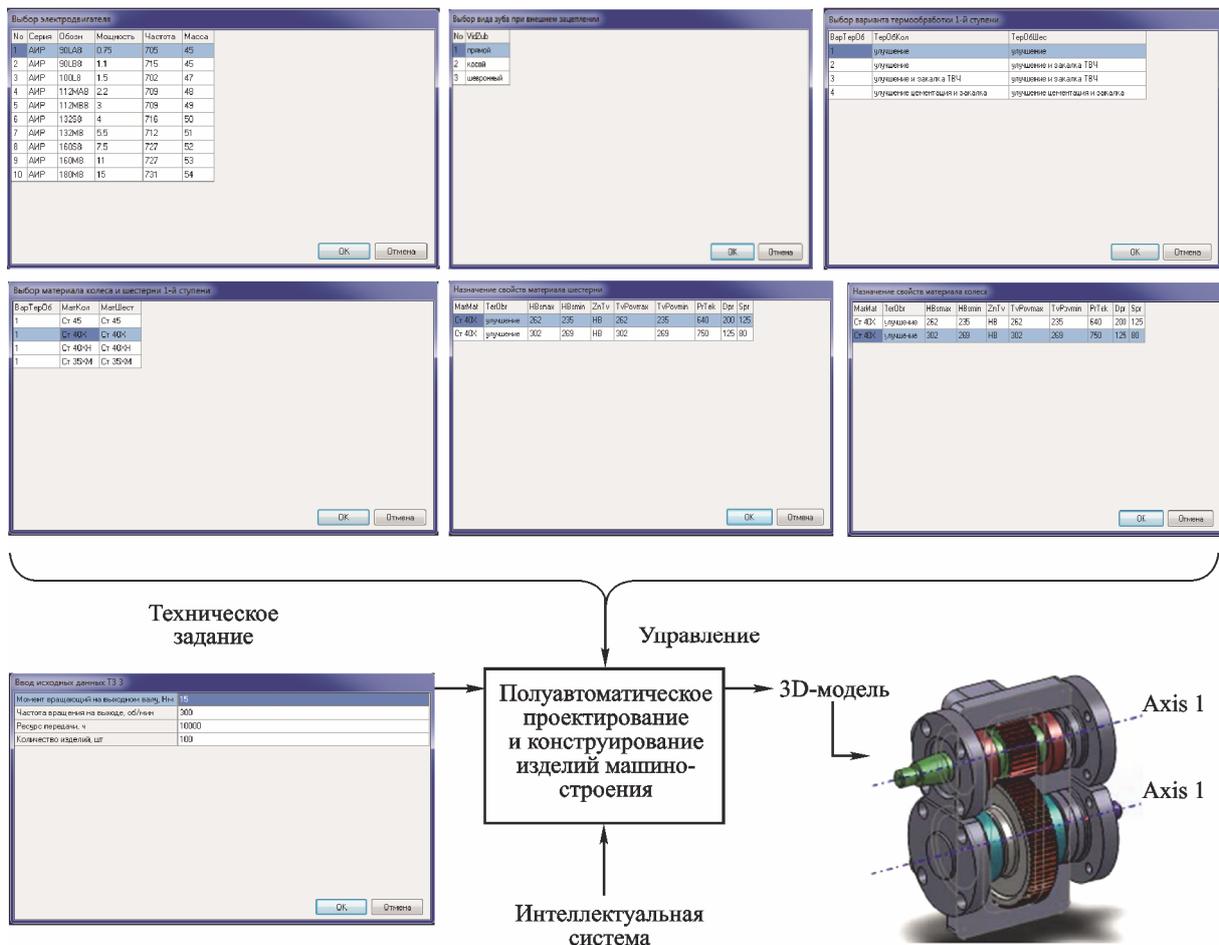


Рис. 9. Схема функционирования полуавтоматической системы

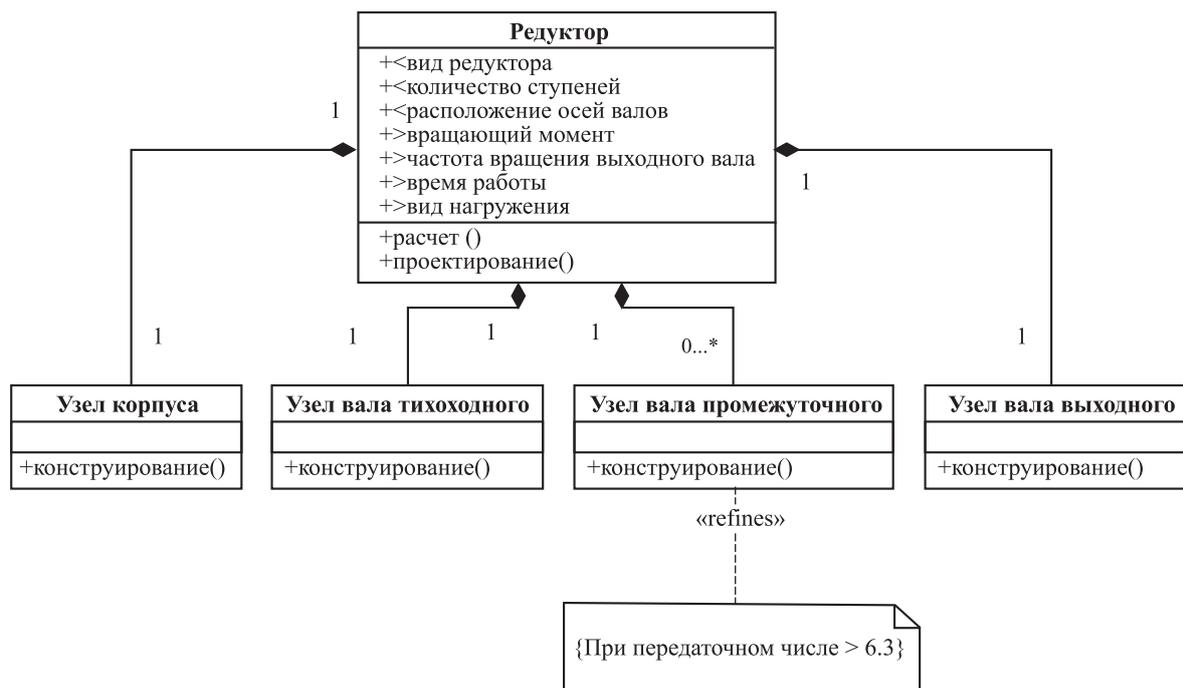


Рис. 10. Модифицированная диаграмма классов для МАС

нижнем окне — материал колеса и шестерни, а в среднем и правом нижних окнах — свойства материала шестерни и колеса.

После ответов на все вопросы интеллектуальная система проводит необходимые расчеты и генерацию документации и 3D-модели. Если в результате ответов на вопросы нарушаются какие-либо ограничения, встроенные в базу знаний, то интеллектуальная система выдает отказ с объяснением причин.

МАС и UML (Unified Modeling Language).

МАС неразрывно связаны со статическими и динамическими свойствами. В UML для статического и динамического представления системы применяются различные диаграммы, поэтому средства UML нельзя непосредственно использовать для представления МАС. Однако после их небольшой модификации это становится возможным.

Основной статической диаграммой UML является диаграмма классов. Представление классов объектов в ней не обладает функциональностью, необходимой для описания МАС. Во-первых, не предусмотрено деление свойств на входные и выходные, что необходимо для представления объект-функций. Во-вторых, классы объектов не имеют предусловий, требуемых для управления процессом поведения системы. Эти проблемы можно решить, не выходя за рамки

средств, принятых для представления диаграмм классов.

На рис. 10 приведена модифицированная диаграмма классов для МАС, где входящие свойства редуктора обозначены знаком «>», а выходящие, получаемые в результате проектирования, — знаком «<».

Предусловие для узла вала промежуточного приведено в виде ограничения, в котором записано, что этот узел появляется при передаточном числе более 6,3. Что касается динамических свойств, то методы классов объектов представляются в виде диаграмм состояний, в которых предусловия включены внутрь модулей.

Выводы

1. Разработаны ИА, обеспечивающие генерацию 3D-моделей машиностроительных изделий.
2. Изложена связь многоагентных и экспертных систем.
3. Описана реализация комплексного ИА в системе Sprut ExPro.
4. Показана связь реализации комплексных ИА в системе Sprut ExPro с генерацией дорожных карт МЗ.
5. Рассмотрены МАС как средство интеграции программных комплексов, а также МАС полуавтоматического проектирования и их связь с UML.

Литература

- [1] Евгеньев Г.Б. *Интеллектуальные системы проектирования*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 420 с.
- [2] Евгеньев Г.Б., ред. *Основы автоматизации технологических процессов и производств*. В 2 т. Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015, т. 1, 441 с., т. 2, 479 с.
- [3] Тарасов В.Б. *От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика*. Москва, Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.
- [4] Müller J.P., Ketter W., Kaminka G., Wagner G., Bulling N. Multiagent System Technologies. *13th German Conference, MATES 2015*, 28–30 September 2015, Cottbus, Germany, Revised Selected Papers, Springer, 2015, 291 p.
- [5] Braubach L., Pokar A., Kalinowski J., Jander K. Tailoring Agent Platforms with Software Product Lines. Multiagent System Technologies. *13th German Conference, MATES 2015*, 28–30 September 2015, Cottbus, Germany, 2015, pp. 3–21.
- [6] Hrabia C.-E., Masuch N., Albayrak S. Autonomy in Complex Systems. Multiagent System Technologies. *13th German Conference, MATES 2015*, 28–30 September 2015, Cottbus, Germany, 2015, pp. 22–41.
- [7] Diaconescu I.M., Wagner G. Modeling and Simulation of Web-of-Things Systems as Multi-Agent Systems. Multiagent System Technologies. *13th German Conference, MATES 2015*, 28–30 September 2015, Cottbus, Germany, 2015, p. 248.
- [8] Bender J., Kehl S., Muller J.P. A Comparison of Agent-Based Coordination Architecture Variants for Automotive Product Change Management. Multiagent System Technologies. *13th German Conference, MATES 2015*, 28–30 September 2015, Cottbus, Germany, 2015, pp. 137–153.
- [9] СПРУТ-Технология. URL: www.sprut.ru (дата обращения 15 декабря 2016).
- [10] Евгеньев Г.Б., Кокорев А.А., Пиримяшкин М.В. Интеллектуальные системы полуавтоматического проектирования и быстрого прототипирования изделий машиностроения. *Евразийский Союз Ученых. Технические науки*, 2015, № 9(18), с. 19–25. URL: <http://euroasia-science.ru/tehnicheskie-nauki/intellektualnye-sistemy-poluavtomaticheskogo-proektirovaniya-i-bystrogo-prototipirovaniya-izdelij-mashinostroeniya/> (дата обращения 15 января 2017).
- [11] Евгеньев Г.Б., Кокорев А.А., Пиримяшкин М.В. Метод создания геометрических баз знаний. *Инженерный вестник*, 2016, № 1, с. 1201–1218. URL: <http://engsi.ru/doc/832611.html> (дата обращения 20 января 2017).
- [12] Евгеньев Г.Б., Кокорев А.А., Пиримяшкин М.В. Разработка интеллектуальной системы трехмерного проектирования деталей. Часть 2. *Инженерный вестник*, 2016, № 2, с. 520–534. URL: <http://engsi.ru/doc/834324.html> (дата обращения 20 января 2017).
- [13] Колесов Ю.Б. *Объектно-ориентированное моделирование сложных динамических систем*. Санкт-Петербург, Изд-во СПбГПУ, 2004. 239 с.
- [14] Евгеньев Г.Б. Полуавтоматические системы типового вариантного проектирования. *Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом. Сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф.*, Новосибирск, Инновационный центр развития образования и науки, 2016, № 3, с. 9–14.
- [15] Евгеньев Г.Б., Кобелев А.С. Особенности создания многоагентной системы интеллектуального проектирования электрических машин. *Тр. Междунар. конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям (IS&IT'16)*, т. I. Таганрог, ЮФУ, 2016, с. 191–200.

References

- [1] Evgenev G.B. *Intellektual'nye sistemy proektirovaniia* [Intelligent systems design]. Moscow, Bauman Press publ., 2012. 420 p.
- [2] *Osnovy avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov i proizvodstv* [Basics of automation of technological processes and production]. Vol. 2. Ed. Evgenev G.B. Moscow, Bauman Press, 2015, vol. 1, 441 p., vol. 2, 479 p.
- [3] Tarasov V.B. *Ot mnogoagentnykh sistem k intellektual'nyim organizatsiiam: filosofii, psikhologii, informatika* [From multiagent systems to intellectual organizations: philosophy, psychology, computer science]. Moscow, Editorial URSS publ., 2002. 352 p.

- [4] Müller J.P., Ketter W., Kaminka G., Wagner G., Bulling N. Multiagent System Technologies. *13th German Conference, MATES 2015*, 28–30 September 2015, Cottbus, Germany, Revised Selected Papers, Springer, 2015, 291 p.
- [5] Braubach L., Pokar A., Kalinowski J., Jander K. Tailoring Agent Platforms with Software Product Lines. Multiagent System Technologies. *13th German Conference, MATES 2015*, 28–30 September 2015, Cottbus, Germany, 2015, pp. 3–21.
- [6] Hrabia C.-E., Masuch N., Albayrak S. Autonomy in Complex Systems. Multiagent System Technologies. *13th German Conference, MATES 2015*, 28–30 September 2015, Cottbus, Germany, 2015, pp. 22–41.
- [7] Diaconescu I.M., Wagner G. Modeling and Simulation of Web-of-Things Systems as Multi-Agent Systems. Multiagent System Technologies. *13th German Conference, MATES 2015*, 28–30 September 2015, Cottbus, Germany, 2015, p. 248.
- [8] Bender J., Kehl S., Muller J.P. A Comparison of Agent-Based Coordination Architecture Variants for Automotive Product Change Management. Multiagent System Technologies. *13th German Conference, MATES 2015*, 28–30 September 2015, Cottbus, Germany, 2015, pp. 137–153.
- [9] Available at: www.sprut.ru (accessed 15 December 2016).
- [10] Evgenev G.B., Kokorev A.A., Piriashkin M.V. Intellektual'nye sistemy poluavtomaticheskogo proektirovaniia i bystrogo prototipirovaniia izdelii mashinostroeniia [Semi-intelligent systems design and rapid prototyping of engineering products]. *Evrasiiskii Soiuz Uchenykh. Tekhnicheskie nauki* [Eurasian Union of Scientists. Engineering science]. 2015, no. 9(18), pp. 19–25. Available at: <http://euroasia-science.ru/tehnicheskie-nauki/intellektualnye-sistemy-poluavtomaticheskogo-proektirovaniya-i-bystrogo-prototipirovaniya-izdelij-mashinostroeniya/> (accessed 15 January 2017).
- [11] Evgenev G.B., Kokorev A.A., Piriashkin M.V. Metod sozdaniia geometricheskikh baz znaniia [A method of creating geometric knowledge bases]. *Inzhenernyi vestnik* [Engineering journal]. 2016, no. 1, pp. 1201–1218. Available at: <http://engsi.ru/doc/832611.html> (accessed 20 January 2017).
- [12] Evgenev G.B., Kokorev A.A., Piriashkin M.V. Razrabotka intellektual'noi sistemy trekhmernogo proektirovaniia detalei. Chast' 2 [The development of intelligent system of three-dimensional design details. Part 2]. *Inzhenernyi vestnik* [Engineering journal]. 2016, no. 2, pp. 520–534. Available at: <http://engsi.ru/doc/834324.html> (accessed 20 January 2017).
- [13] Kolesov Iu.B. *Ob'ektno-orientirovannoe modelirovanie slozhnykh dinamicheskikh sistem* [Object-oriented modeling of complex dynamic systems]. Sankt-Petersburg, SPbSPU publ., 2004. 239 p.
- [14] Evgenev G.B. Poluavtomaticheskie sistemy tipovogo variantnogo proektirovaniia [Semi-automatic model trial design]. *Aktual'nye problemy tekhnicheskikh nauk v Rossii i za rubezhom. Sb. nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Actual problems of technical Sciences in Russia and abroad. Collection of scientific papers based on the results of international scientific-practical conference]. Novosibirsk, Innovatsionnyi tsentr razvitiia obrazovaniia i nauki publ., 2016, no. 3, pp. 9–14.
- [15] Evgenev G.B., Kobelev A.S. Osobennosti sozdaniia mnogoagentnoi sistemy intellektual'nogo proektirovaniia elektricheskikh mashin [Features create multi-agent system for intelligent design of electrical machines]. *Trudy Kongressa po intellektual'nym sistemam i informatsionnym tekhnologiam (IS&IT'16)* [Proceedings of the Congress on intellectual systems and information technologies (IS&IT'16)]. Vol. I. Taganrog, IuFU publ., 2016, pp. 191–200.

Статья поступила в редакцию 22.02.2017

Информация об авторе

ЕВГЕНЕВ Георгий Борисович (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: g.evgenev@mail.ru).

Information about the author

EVGENEV Georgiy Borisovich (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Computer Systems for Industrial Automation. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Bauman'skaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: g.evgenev@mail.ru).