 © Авторы статьи / Authors of the article

РОБОТЫ, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ/ROBOTS, MECHATRONICS AND ROBOTIC SYSTEMS

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125 EDN: WXHAWO

МНОГОЯЗЫЧНАЯ СИСТЕМА СОЗДАНИЯ ПРОДУКЦИОННЫХ БАЗ ЗНАНИЙ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ С АВТОМАТИЧЕСКИМ ПРОГРАММИРОВАНИЕМ

Научная статья

Кирияк А.Н.[1,] *, Евгенев Г.Б.[2], Кирияк Н.Ю.[3]
[1] ORCID : 0009-0008-0342-2192;
[1, 2] Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация
[3] Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (seaandocean-777[at]mail.ru)

Предложена: 16.10.2023; Принята: 15.12.2023; Опубликована: 18.12.2023

Аннотация

Наиболее серьезный вызов, с которым сталкивается экономика России – это низкая эффективность. Без модернизации нельзя создать надежный фундамент, повысить уровень жизни и обеспечить надежную безопасность страны в нестабильном мире. В связи с этим в состав Национальных проектов России на период с 2019 по 2024 годы включен проект «Цифровая экономика». В числе целей этого проекта – использование отечественного программного обеспечения в области цифровых производств, а также создание сквозных цифровых технологий преимущественно на основе отечественных разработок.

Задачей авторов является разработать многоагентную интеллектуальную систему для обеспечения международного интегрированного сотрудничества в среде проектирования используя ноу-хау производственных процессов и накапливание опыта. Область применения: Планирование как возможность достижения поставленных целей при проектировании с большим числом переменных.

Ключевые слова: Индустрия 5.0, цифровые производства, Интернет знаний, Интернет вещей, интегрированные системы.

MULTILINGUAL SYSTEM OF CREATION OF PRODUCTION KNOWLEDGE BASES FOR INTELLIGENT DESIGN METHODS WITH AUTOMATIC PROGRAMMING

Research article

Kiriyak A.N.[1,] *, Yevgenev G.B.[2], Kiriyak N.Y.[3]
[1] ORCID : 0009-0008-0342-2192;
[1, 2] Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation
[3] National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (seaandocean-777[at]mail.ru)

Suggested: 16.10.2023; Accepted: 15.12.2023; Published: 18.12.2023

Abstract

The most serious challenge facing the Russian economy is low efficiency. Without modernization, it is impossible to create a solid foundation, raise living standards and ensure the country's reliable security in an unstable world. In this regard, the Digital Economy project has been included in Russia's National Projects for the period from 2019 to 2024. Among the objectives of this project is the use of domestic software in the field of digital industries, as well as the creation of end-to-end digital technologies predominantly based on domestic developments.

The authors' objective is to develop a multi-agent intelligent system to enable international integrated co-operation in a design environment using process know-how and experience. Field of application: Planning as a possibility to achieve goals in a design with numerous variables.

Keywords: Industry 5.0, digital manufacturing, Internet of Knowledge, Internet of Things, integrated systems.

Введение

Описана программная инженерия, обеспечивающая создание интеллектуальных систем непрограммирующими пользователями на различных естественных языках. Введено представление модулей знаний для непрограммистов и генерация на их основе баз знаний. Принципами создания баз знаний должны стать «гуманизация» и «автоматизация» программирования. Гуманизация должна основываться на языке «деловой прозы», максимально приближенному к естественному. Описаны: словарь базы знаний, комбинированные модули с формулами, модули – таблицы, модули геометрических процедур, модули выбора из базы данных, модули генерации 3D вариантов моделей, компоненты системы для решения уравнений, подход к созданию программного кода с помощью экспертной методологии, иерархия уровней знаний, выбор языка для представления информации, а также создание и выполнение сгенерированной программы.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Концептуальная модель модулей знаний

Исследование проблем, возникающих при проектировании экспертных систем с использованием методологии искусственного интеллекта в настоящее время весьма распространено среди экспертов во многих странах.

Авторы [11] разработали гуманоидного робота-уборщика работающего на комбинации высокоуровневых гибридных механизмов рассуждения с низкоуровневой системой управления всем телом. Важно отметить, что в данном проекте параметризация тесно работает в паре с Базой знаний стратегий управления всем телом. В настоящее время декартовы траектории задач создаются вручную квалифицированными программистами.

В статье [12] описывается разработка интеллектуальной системы, основанной на параллельном проектировании, для создания альтернативных вариантов проектирования на стадии концептуального проектирования. Предлагаемая экспертная система включает в себя модуль анализа проекта, модуль оценки проекта, модуль сбора и хранения знаний, пользовательский интерфейс и базы данных. Он также интегрирован с приложением электронных таблиц для хранения данных и численного анализа и работает в сочетании с программным обеспечением для выбора материалов Cambridge Engineering selector (CES), чтобы облегчить процесс выбора материалов. Редукция модели основана на формализме Global modal parameterization (GMP), который основан на нелинейной динамике.

В статье [13] описывается модель роботизированной передачи, которая первоначально оптимизируется с использованием генетического алгоритма, рассматривая деформацию и напряжение изгиба как ограничения. Эти данные используются для подготовки 3D-модели в программном обеспечении CATIA. Дальнейший анализ планировался с помощью инструмента моделирования ABAQUS. С помощью этого программного обеспечения выполняется статический структурный, частотный анализ и анализ критических нагрузок. Этот анализ выполняется с использованием генетического алгоритма и MATLAB. Результаты сравниваются интеллектуальной системой для определения оптимального и наиболее подходящего материала для легких зубчатых передач.

В данной статье авторы поставили себе цель построить прототип многоязычной системы модулей знаний для интеллектуальных методов проектирования на нескольких языках опираясь на стандарты, принятые в международной области. Наиболее целесообразным представляется выбор методологии IDEF0. В 1981 году была создана стандартная модель IDEF0 в рамках программы автоматизации промышленных предприятий, которая носила обозначение ICAM (*Integrated Computer Aided Manufacturing*). Набор стандартов IDEF является прямым потомком ICAM и сейчас расшифровывается как *ICAM Definition*. В процессе практической реализации, разработчики программы ICAM столкнулись с необходимостью применения инновационных подходов к анализу взаимодействия в промышленных системах. Помимо улучшенного набора функций для описания процессов, одним из требований к новому стандарту было наличие эффективной методологии сотрудничества между аналитиками и специалистами. Стандарт обеспечивает групповую работу в рамках проекта, где все аналитики и специалисты активно участвуют в коллективной работе по созданию модели.

Исходя из того, что обсуждается вопрос об интеллектуальных системах, ключевым компонентом является модуль знаний, реализованный по стандарту IDEF0 (рис. 1) и представленный на языке «деловой прозы».

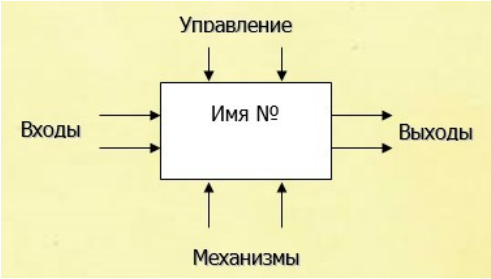


Рисунок 1 - Внешнее представление модуля в стандарте IDEF0
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125.1

IDEF0 – методология функционального моделирования. Его основной фокус в данном подходе лежит на взаимосвязи между объектами. В рамках методики IDEF0 анализируются логические связи между модулями. Этот метод описывается как «чёрный ящик» с использованием входов, выходов, управления и механизма, который постепенно улучшается до требуемого уровня детализации.

Модули знаний на языке деловой прозы

Необходимо ясно и точно выражать свои мысли. Лучше избегать использования сложных и запутанных фраз, предпочитая простой и понятный язык. Также важно учитывать аудиторию, к которой обращается автор, и использовать терминологию, понятную ей. Кроме того, следует избегать повторений и излишнего употребления (дублирования) одних и тех же слов. В IDEF0 имеются словари, содержащие описания действий и указателей. В этих словарях можно предоставить описания, которые раскрывают смысл, содержащийся в том или ином описании.

Инструкции по применению методологии IDEF0 можно найти в документе Р 50.1.028-2001 «Информационные технологии для поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования» [1].

Реализованная модель в рамках IDEF0 моделирования всех процессов является ключевым элементом при организации бизнес-процессов и проектов.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Выбор должен осуществляться таким образом, чтобы элементы ясно отражали их функциональное назначение и были понятными для пользователей. Не рекомендуется использовать общие или неоднозначные названия переменных, так как это может затруднить понимание кода программы. Следует избегать повторения одинаковых имен переменных в разных частях программы, чтобы избежать путаницы и ошибок. Важно также придерживаться определенных стандартов по наименованию переменных в Модулях Инженерных Знаний, чтобы код был более читаемым и понятным для других разработчиков. Словарь Базы Знаний представлен на таблице 1.

Таблица 1 - Словарь базы знаний

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125.2

Наименование	Ед. изм.	Имя	Тип
Диаметр оси стандартный	мм	d	R
Длина оси стандартная	мм	L	R
Ширина фаски	мм	c	R
Диаметр буртика	мм	D	R
Ширина буртика	мм	H	R
Радиус галтели	мм	r1	R
Радиус скругления буртика	мм	r2	R
Марка материала	-	Марка	S
Изгибающий момент	Н*мм	Mi	R
Допустимое напряжение изгиба	МПа	Ti	R
Диаметр оси исходный	мм	do	R
Длина оси исходная	мм	Lo	R
Тип оси	-	TO	S
Номер детали	-	Ном	I
Диаметр оси расчетный	мм	dr	R

Формирование модулей знаний (МЗ) осуществляется с помощью системы СПРУТ ЭксПро [2], [3], [4], [5]. В модуле на рисунке 2 проводится расчет по формулам для ряда величин.

Модуль: М1
Разработчик: Евгенев Г. Б.
Наименование: Расчет диаметра оси
Источник информации: Анурьев В.И. Справочник конструктора, т.2, стр.9

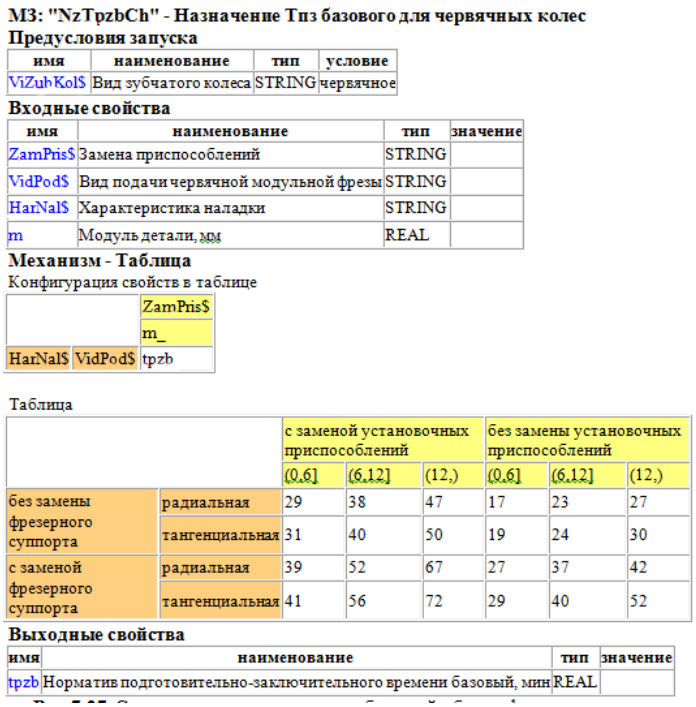
Наименование	IIмя	Ограничение
Тип оси	TO	ось гладкая, ось с буртиком
Изгибающий момент, Нмм	Mi	(0.,95000)
Допустимое напряжение изгиба, Мпа	Ti	[0.6,0.95]
Диаметр оси расчетный, мм	dr	(Mi/(0.1*Ti))^(1/3)

Рисунок 2 - Внешний облик модуля – математические выражения

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125.3

С помощью модулей знаний можно использовать базу для описания формул. На рисунке 3 приведем пример описания процесса преобразования механической обработки в соответствии с ЕСТД. При выбранных значениях входных переменных Per=«Точить», ElObr=«канавку», NoEl=1, DinPer2=«кольц.», DinPer4=«окончательно» содержание перехода будет представлено следующим образом: «Точить кольц. канавку 1 окончательно». Функция STR выполняет преобразование данных из числовой формы в строковую.

 © Авторы статьи / Authors of the article



МЗ: "NzTpzbCh" - Назначение Тпз базового для червячных колес

Предусловия запуска

имя	наименование	тип	условие
ViZubKol$	Вид зубчатого колеса	STRING	червячное

Входные свойства

имя	наименование	тип	значение
ZamPris$	Замена приспособлений	STRING	
VidPod$	Вид подачи червячной модульной фрезы	STRING	
HarNal$	Характеристика наладки	STRING	
m	Модуль детали, мм	REAL	

Механизм - Таблица

Конфигурация свойств в таблице

	ZamPris$
	m_
HarNal$ VidPod$	tpzb

Таблица

		с заменой установочных приспособлений			без замены установочных приспособлений		
		(0,6]	(6,12]	(12,)	(0,6]	(6,12]	(12,)
без замены фрезерного суппорта	радиальная	29	38	47	17	23	27
	тангенциальная	31	40	50	19	24	30
с заменой фрезерного суппорта	радиальная	39	52	67	27	37	42
	тангенциальная	41	56	72	29	40	52

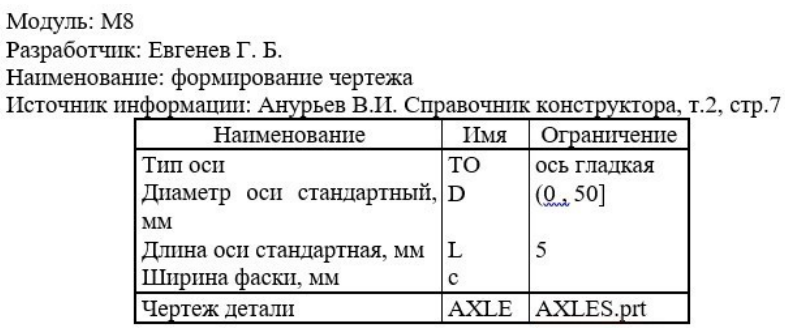
Выходные свойства

имя	наименование	тип	значение
tpzb	Норматив подготовительно-заключительного времени базовый, мин	REAL	

Рисунок 3 - Внешнее представление модуля

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125.4

В системе, основанной на программных инструментах СПРУТ [4], геометрические и сложные математические вычисления не могут быть представлены в форме Модулей Знаний (МЗ). Для использования математических знаний введены модули с механизмами в виде программных модулей. Пример такого модуля приведен на рисунке 4. Этот МЗ предназначен для генерации чертежа спроектированной детали. Аналогичным образом могут генерироваться поверхностные и твердотельные модели изделий, а также обращение к программным средствам, созданным вне среды СПРУТ.



Модуль: М8
Разработчик: Евгенев Г. Б.
Наименование: формирование чертежа
Источник информации: Анурьев В.И. Справочник конструктора, т.2, стр.7

Наименование	IIмя	Ограничение
Тип оси	TO	ось гладкая
Диаметр оси стандартный, мм	D	(0 , 50]
Длина оси стандартная, мм	L	5
Ширина фаски, мм	c	
Чертеж детали	AXLE	AXLES.prt

Рисунок 4 - Внешнее представление модуля – процедуры геометрической

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125.5

Ограничение – имя программы AXLES.prt; Имя – наименование сегмента графической базы.

Для решения сложных задач можно использовать методы, сгенерированные из МЗ. Эти методы можно применять для решения разнообразных комплексных задач.

Механизмы модулей знаний

4.1. Выбор из базы данных

Информацию, а также характеристики материалов можно найти в каталогах Баз Знаний, что позволяет существенно повысить эффективность процессов и снизить затраты на производство. В процессе проектирования информация выбирается из таблиц Баз Знаний. Для этих целей применяются Модули Знаний выбора (селекции) из баз данных [2].

Пример модуля выбора из Базы Знаний приведен на рисунке 5. Эта управляющая переменная используется для фильтрации данных и определения типа оси, которую следует извлечь из базы данных. Она необходима для выбора из Базы Знаний значений только тех переменных, которые определяют деталь данного типа – оси гладкой.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Модуль: М3
Разработчик: Евгенев Г. Б.
Наименование: Назначение стандартных размеров оси гладкой
Источник информации: Анурьев В.И. Справочник конструктора, т.2, стр.7

Наименование	Имя	Ограничение
Тип оси	TO	ось гладкая
Диаметр оси расчетный, мм	dr	(0, 50]
Диаметр оси стандартный, мм	d	База: STND Таблица: Оси
Ширина фаски, мм	c	Where "d">=dr

Оси

d	D	H	r1	r2	c
5.	8.	1.5	0.4	0.6	0.6
6.	10.	2.	0.4	0.6	0.6
8.	12.	2.	0.4	0.6	0.6
10.	14.	2.5	0.6	0.6	1.
12.	16.	2.5	0.6	0.6	1.
14.	18.	3.	0.6	0.6	1.6
16.	20.	3.	0.6	0.6	1.6
18.	22.	3.	1.	0.6	1.6
20.	25.	4.	1.	1.	1.6
22.	28.	4.	1.	1.	1.6
24.	30.	4.	1.	1.	1.6
25.	32.	5.	1.	1.	1.6
28.	36.	5.	1.	1.	1.6
30.	38.	5.	1.	1.	1.6
32.	40.	6.	1.	1.6	2.5
36.	45.	6.	1.6	1.6	2.5
40.	50.	6.	1.6	1.6	2.5
45.	55.	7.	1.6	2.5	2.5

Рисунок 5 - Внешнее представление модуля – выбора из базы данных
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125.6

4.2. Генерация 3D моделей

В SolidWorks был разработан механизм работы с формулами, который позволяет полностью определить геометрию модели и устанавливать связи и зависимости. Это особенно важно для инженеров-конструкторов, так как поведение систем часто зависит от динамических отношений между различными геометрическими параметрами.

После создания твердотельной модели из эскиза с размерами мы можем начинать связывать один общий размер с другим, когда это требуется. Внесение изменений в эскиз может увеличить динамичную реакцию на изменения в детали конструкции, то есть данный размер становится функцией от других размеров. Статическая детекция позволяет обнаружить потенциальные проблемы в процессе работы, что способствует уменьшению трудозатрат, повышению качества и надежности. Именно на этом этапе статическая деталь становится интеллектуальной (рис. 6).

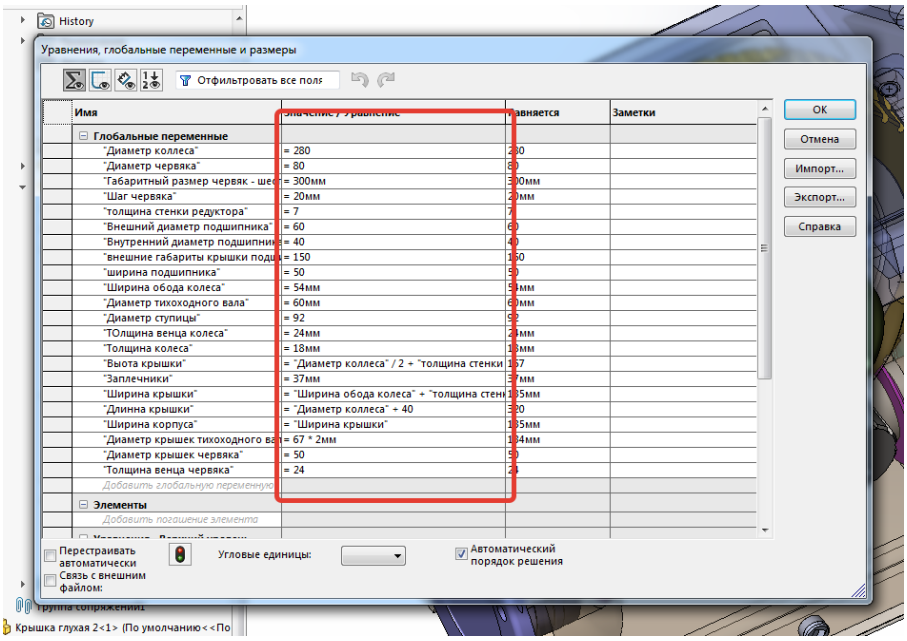


Рисунок 6 - Привязка глобальных переменных
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125.7

 © Авторы статьи / Authors of the article

Ранее уже был разработан ряд инновационных инженерных решений по созданию интеллектуальных CAD-систем. Однако в них отсутствует задача создания полуавтоматических систем проектирования и быстрой генерации 3D моделей.

Чтобы обеспечить возможность генерации 3D моделей с помощью баз знаний, необходимо созданный ранее метод знаний связать с CAD-системой при помощи специализированного PRT-модуля, благодаря которому, на основе параметризованной в CAD-системе модели детали и/или сборочной единицы, можно было бы сгенерировать 3D модель изделия на основе параметров и значений размеров, рассчитанных в модулях инженерных знаний.

При правильном подборе и расчете всех указанных и передаваемых параметров после перерасчета система сможет перестроить исходный червячный редуктор в течение короткого времени после загрузки по новым требованиям (рис. 7-8).

В противном случае исходная 3D-модель исчезнет и будет отображено сообщение об ошибке.

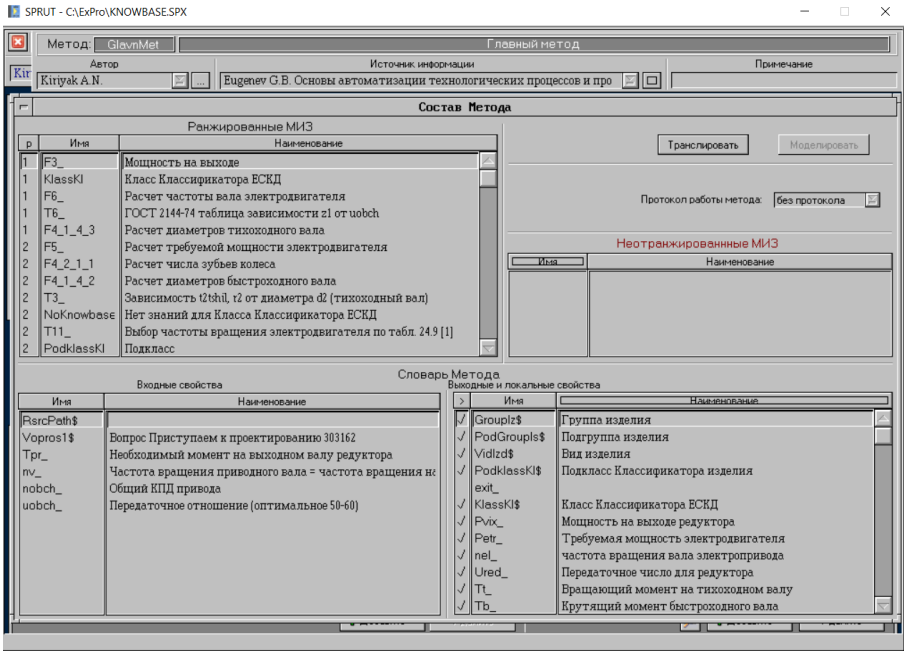


Рисунок 7 - Процесс полуавтоматического разработки червячного редуктора

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125.8

 © Авторы статьи / Authors of the article

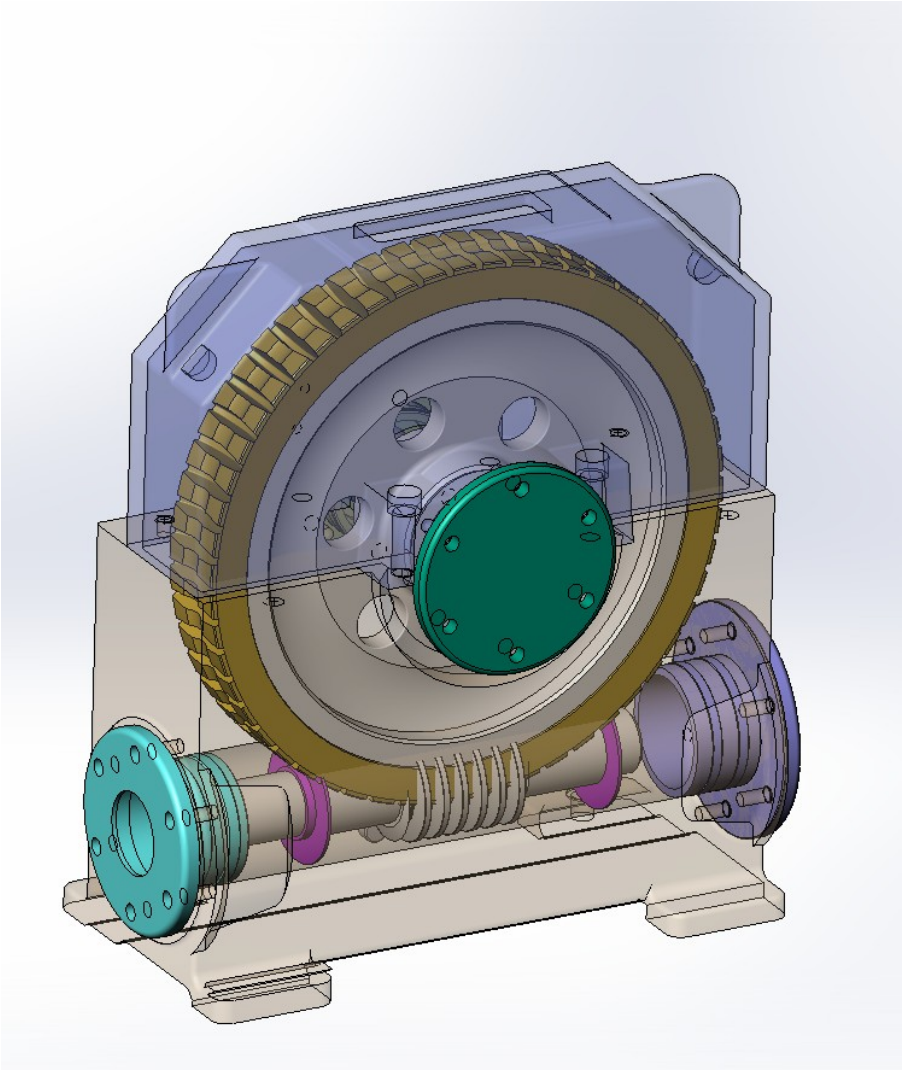


Рисунок 8 - Создание 3D модели изделия с учетом параметров
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125.9

4.3. Решение систем уравнений

Одной из форм математических знаний, необходимых для разработки интеллектуальных систем, являются геометрические знания. Для выполнения расчетов также требуются модели непрерывных систем, основанные на дифференциально-алгебраических системах уравнений.

Для интеграции в интеллектуальную систему проектирования необходимо, чтобы инструментальное средство, способное генерировать указанные модели, обладало следующими функциями:

- поддержка языка программирования, который соответствует принципам объектно-ориентированного подхода и может быть использован вместе с языком программирования UML;

- возможность при использовании стандартных математических терминов и без применения конкретного языка программирования создавать удобное и достаточное описание модели;

- автоматическое создание компьютерной модели, которая соответствует заданной математической модели, с возможностью автономного применения этой компьютерной модели [5].

Пакет Model Vision [6] во многом соответствует данным требованиям. Основным элементом языка MVS является *активный динамический объект* (АДО). Активный динамический объект MVS позволяет обеспечивать моделирование как непрерывное, так и дискретное или гибридное. С точки зрения языка – это активный объект, так как ему присуща своя собственная внутренняя деятельность, независимая от поведения других объектов. Атрибуты активного объекта соответствуют переменным с определенной семантикой значений, которая явно описывается в словаре экспертной базы знаний. Поведение активного объекта UML определяется диаграммой состояний. В MVS непрерывное поведение может иметь единственное состояние, которому приписана система уравнений.

В отличие от объекта UML, деятельность, характерная для АДО, может быть непрерывной и не зависеть от «потока управления». Непрерывный поток времени, являющийся независимым и глобальным, является важнейшим фактором, который побуждает к постоянной активности.

Внешние переменные представляют собой общедоступную часть объекта (публичный интерфейс), в то время как внутренние переменные и поведение инкапсулированы внутри самого объекта. Значения внутренних переменных могут быть изменены только изнутри объекта. Внешние переменные могут быть изменены как извне объекта, так и внутри него. Значения параметров задаются при создании экземпляра объекта и остаются неизменными в течение

 © Авторы статьи / Authors of the article

всего срока его существования. С каждой непрерывной переменной (имеющей тип значения скалярный вещественный, векторный или матричный) автоматически связывается набор производных, не требующих специального описания.

В отношении локальных объектов, которые обсуждаются здесь, объект, содержащий их, является объектом-контейнером. При создании экспертных баз знаний таким контейнерным объектом является объект-функция. Ниже представлено внешнее представление математического модуля знаний с идентификатором *RsDP*, который предназначен для расчета максимальной дальности полета объекта массой 1, брошенного под углом Teta0 к горизонту со скоростью V0. Скорость должна быть положительной, а угол должен находиться в диапазоне от 0 до π/2.

Схематическое изображение системы уравнений представлено на рисунках 9 и 10.

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	

Рисунок 9 - Внешнее представление модуля знаний
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125.10

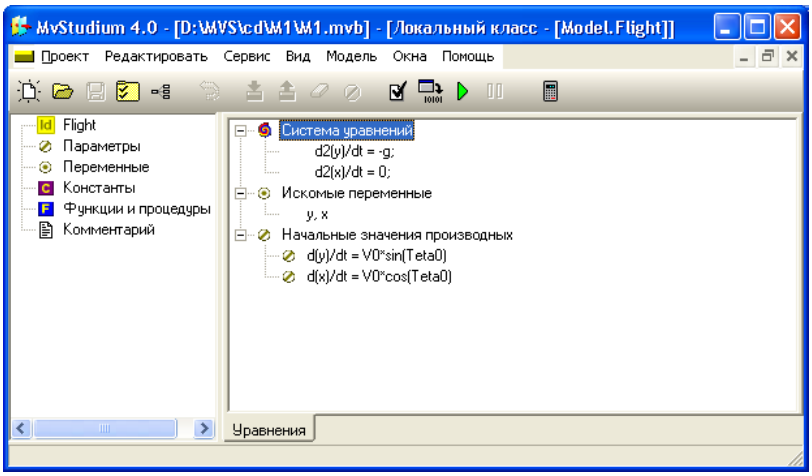


Рисунок 10 - Визуальное воплощение набора уравнений
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125.11

В общем случае в обычном состоянии могут быть определены входные действия, выходные действия, а также локальная деятельность («activity»). Последовательность входных действий выполняется мгновенно при каждом входе в данное состояние, а последовательность выходных действий – мгновенно при каждом выходе из данного состояния.

Локальная деятельность, в свою очередь, может быть использована для выполнения различных операций внутри состояния, которые продолжаются до тех пор, пока данное состояние остается активным.

 © Авторы статьи / Authors of the article

На рисунке 11 представлено описание процесса создания временной диаграммы во время проведения вычислительного эксперимента, который моделирует движение объекта, брошенного под углом к горизонту, в соответствии с системами уравнений, приведенными ранее.

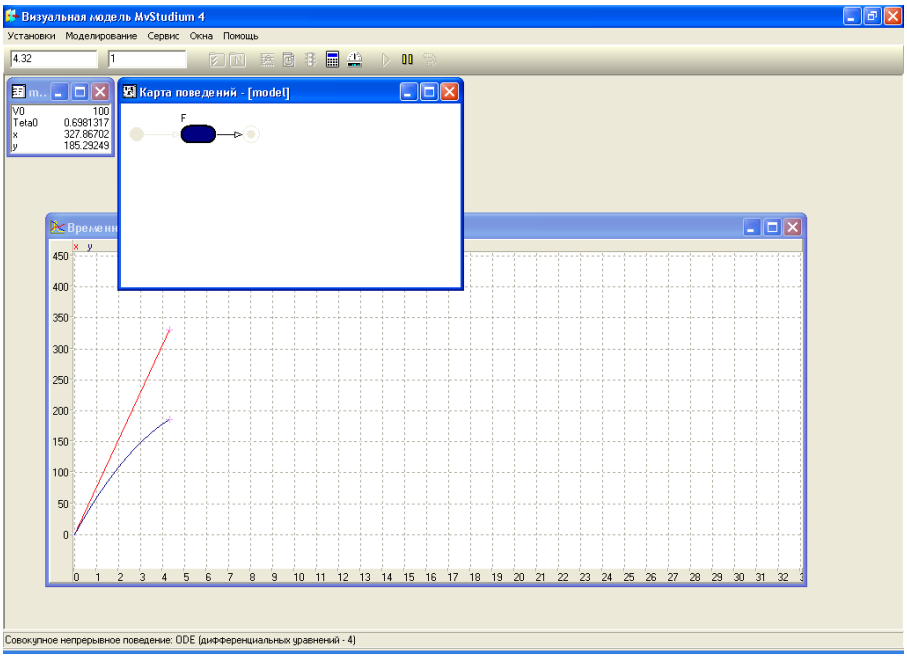


Рисунок 11 - Внешнее представление решения системы уравнений
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125.12

Системы баз знаний

Цифровая эра должна предоставить неопытному пользователю – носителю знаний, не обладающему навыками программирования – возможность ввода данных в компьютер используя методологию *экспертного программирования* [3]. В этой методологии знания излагаются на языке *деловой прозы.* Этот язык максимально приближен к литературному языку, но формализован настолько, что имеется возможность автоматической генерации программных средств, соответствующих исходным текстам.

Это позволяет значительно ускорить процесс разработки программ и снизить вероятность ошибок. Такая формализация также позволяет легко вносить изменения в программное обеспечение, не затрагивая его основную структуру. В итоге, формализация является мощным инструментом для повышения эффективности и надежности разработки конечных продуктов.

Любая проектируемая *система* сформирована из компонентов и соединений между ними [7]. Компонентов, где каждый является некой функцией, а любой другой – своего рода контекстом, в котором эта функция выполняется. $S = < A, R >$, где A – множество элементов, которые составляют систему, R – различные связи между данными компонентами.

Из этого можно сделать вывод, что можно осуществить классификацию проектируемых систем, используя один из двух основных критериев различия:

а) по характеристикам компонентов, составляющих систему;

б) по различным типам отношений, которые связывают эти элементы.

Эти критерии классификации можно рассматривать как в качестве отдельных, так в качестве независимых.

Примерами использования критерия *а)* служит перегруппировка науки и техники на дисциплины и специализации, каждая из которых анализирует особенности определенных категорий. Применительно к конструированию изделий – это разделение в соответствии с классификацией машин и аппаратов, например, по системе ЕСКД. Применительно к технологии – это классификация по технологическим методам в соответствии с ЕСТД (например, литье, обработка давлением, резанием, термическая и т.п.). Каждый тип элементов требует использования различных экспериментальных средств для сбора данных, данная классификация основана на экспериментальной основе.

Критерий *б)* дает совершенно иную классификацию систем, а именно – состоит в определении типа отношений, которые имеются в классе, без привязки к конкретным элементам, на которых эти отношения заданы. Такая классификация основана на обработке данных, а не на их сборе. Главным образом была задействована теоретическая составляющая, однако, с появлением вычислительных устройств, этот критерий изменился. Из критерия *б)* для проектирования систем использовались только математические модели определенных типов. поскольку математические модели основаны на аксиоматическом подходе и абстрагированы от материальных/энергетических аспектов явлений.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Таблица 2 - Классификация применений и эпистемологическая классификация уровней знания обычно проводятся в соответствии со стандартными подходами

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125.13

Традиционная классификация прикладных областей									Эпистемологическая классификация
Наука			Техника			Другие области			Эпистемологические
Физика	Химия	..	Меха ника	Электро ника	..	Медицина	Му зыка	..	уровни
		..			..			..	УРОВНИ 4, 5 МЕТАСИСТЕМЫ (отношения между определенными ниже отношениями)
		..			..			..	УРОВЕНЬ 3 СТРУКТУРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ (отношения между определенными ниже системами)
		..			..			...	УРОВЕНЬ 2

© Авторы статьи / Authors of the article

Традиционная классификация прикладных областей									Эпистемологическая классификация
									ПОРОЖДАЮЩИЕ СИСТЕМЫ (модели, генерирующие определенные ниже данные)
		..			..			...	УРОВЕНЬ 1 СИСТЕМЫ ДАННЫХ (данные, структура которых определена ниже)
		..			..			...	УРОВЕНЬ 0 ИСХОДНЫЕ СИСТЕМЫ (язык определения данных)

 © Авторы статьи / Authors of the article

Такие модели могут быть применены для анализа различных систем и процессов, таких как экономические, биологические или физические. Кроме того, эти математические модели могут быть адаптированы для решения различных задач, включая прогнозирование, оптимизацию и контроль. Во второй половине XX века возник ряд новых теоретических наук, которые тесно связаны с родственными дисциплинами: развитие вычислительной теории управления; методов оптимизации; теории игр; искусственного интеллекта; машинного обучения; алгоритмов и структур данных; компьютерного моделирования; анализа данных; статистических методов; исследование операций; информационные технологии; разработка программного обеспечения; инженерия знаний; системный анализ; оптимальное планирование; робототехника; биоинформатика; компьютерное зрение; анализ больших данных; интернет вещей; облачные вычисления, теория искусственного интеллекта.

Самыми большими по критерию *б)* являются категории, которые описывают различные *эпистемологические уровни*, т.е. уровни знания относительно рассматриваемых явлений. Далее эти классы уточняются с применением различных методологических отличий. Каждый обнаруженный класс подразделяется на более мелкие классы, состоящие из систем, эквивалентных с точки зрения конкретных практических сущностей, из них каждые имеют свои уникальные особенности и функции. Отношения между ними также различны. Если выделить из таких классов некоторые аспекты и их связи, то можно заметить, что они могут быть основаны на совершенно различных элементах. Каждую систему можно заменить одной системой, представляющей этот класс.

Профессором Д.С. Поспеловым был создан комплекс новых методов построения систем управления, в основе которых лежит идея *семиотических* (*логико-лингвистических*) моделей представления объектов управления и описания процедур управления ими. Семиотические системы по Д.А. Поспелову являются расширением классических формальных систем. В отличие от классической формальной системы, которая моделирует замкнутый, полностью заданный мир, семиотическая модель позволяет описывать процессы, протекающие в открытых или динамических системах. Эти модели, послужившие основой для создания им методов *ситуационного управления большими системами* и *семиотического моделирования*, на полтора десятка лет опередили аналогичные работы в области ИИ и смежных направлениях в США и Европе. В частности, в СССР ещё в 1970-е гг. с помощью методов ситуационного управления и семиотического моделирования были созданы эффективные системы оперативного диспетчерского управления такими сложными объектами, как грузовой морской порт, автокомбинат, комплекс трубопроводов и др. [7].

В область *системологии* [8] включены все разновидности свойств отношений, которые являются значимыми как для отдельных классов, так и для целых систем. Выбранная классификация систем помогает разделить системологию на разные области, аналогично тому, как традиционная наука разделяется на различные дисциплины и специализации. Знания о системах – то есть знания, которые относятся к разным типам отношений в системах – могут быть получены с помощью математики или путем экспериментов с их моделями на компьютере.

Системная методология связана с функционированием и взаимодействием компонентов системы. Это наука, которая исследует структуру систем, их характеристики и способы взаимодействия. Она также разрабатывает методы и алгоритмы для решения проблем, возникающих при проектировании, анализе и оптимизации систем, постановка которых касается связей и взаимодействий между их элементами. Основными принципами системологии являются анализ, моделирование и прогнозирование различных видов системных отношений.

Иерархическая классификация систем в системологии строится на основе их эпистемологических уровней (табл. 2). Данная иерархия основана на следующих основных принципах:

· профессионал, занимающийся исследованиями (разработкой, технологией) и его рабочее окружение;

· система, которую мы исследуем (проектируем), и окружающая ее среда;

· взаимодействие между исследователем и системой [10].

Самый нижний уровень в этой иерархической структуре обозначается как нулевой (0) уровень. Модель позволяет описать систему и проводить операции над ее состояниями с помощью значений атрибутов. Для систем, определенных на этом уровне, используется термин *исходная система*, указывающий на то, что она является, по крайней мере потенциально, источником эмпирических данных. В литературе используется также название «система без данных», означающее, что система этого уровня представляет собой простейшую стадию процесса исследования, не использующую данные о доступных переменных.

Другими словами, на нулевом уровне исследуются характеристики и взаимосвязи между свойствами (переменными) системы, которую мы исследуем или проектируем. Для этого используется математическая лингвистика, которая изучает понятия, имена, термины и связи между ними. Для специалистов в области автоматизации проектирования язык является инструментом для описания исходных систем при помощи терминов. Термины являются основными элементами специализированной лексики, которая используется в различных областях знаний. Они служат для точного и однозначного обозначения понятий, процессов, объектов и явлений, характерных для определенной области. Использование терминов позволяет избежать неоднозначности и позволяет более точно и эффективно общаться внутри специфических областей знаний при помощи *понятий.* Группа или категория предметов (процессов), а не отдельный предмет называется *структурой*, как набор обязательных атрибутов, которые определяют класс предметов. В языке эти атрибуты обозначаются. *именами*, а конкретные значения имен – *терминами.* Один конкретный предмет можно выделить, используя термины из класса предметов.

На более высоких эпистемологических уровнях системы отличаются друг от друга содержанием знаний относительно переменных соответствующей исходной системы. Системы, которые были обогащены информацией о фактических состояниях основных переменных, при определенных параметрах, рассматриваются как новые системы на эпистемологическом уровне 1. Такие системы называются *системами данных.* В зависимости от цели, информация

 © Авторы статьи / Authors of the article

может быть получена путем наблюдений или измерений (например, в задаче моделирования), либо определена как желаемые состояния (как в задаче проектирования).

При конструировании используется информация из архива предыдущих разработанных конструкций, информация о доступных стандартных сборочных единицах и деталях, информация о типовых элементах конструкторской и технологической документации деталей и другие источники. При разработке технологических процессов используются данные из архива предыдущих разработанных процессов, информация о доступных стандартных технологических процессах, средствах технологического оснащения и другие ресурсы.

Более высокие уровни эпистемологии включают в себя информацию о взаимосвязях между изучаемыми переменными, которая позволяет генерировать данные при соответствующих начальных и граничных условиях. Эти характеристики обычно содержатся в нормативной технической документации, а иногда они основаны на практическом опыте инженеров.

Уровень 2, применяемый для автоматизации проектирования – это уровень базы знаний генерации значений переменных, определяющих свойства, которые могут быть использованы в производственном процессе. Здесь задаются инвариантные значения, которые могут значительно влиять на результаты эксперимента или исследования. Различные варианты параметров могут создавать различные функциональные связи между основными переменными, включая определенные значения, и эти различия могут оказывать значительное влияние на результаты проводимого эксперимента или исследования исходной системой. Эту переменную называют *внутренней.* Каждое правило преобразования базы знаний на этом уровне обычно представляет собой однозначную функцию, присваивающую каждому элементу множества переменных, рассматриваемому в этом правиле в качестве выходного, единственное значение из множества допустимых [3].

Поскольку задачей генерации свойств является реализация процесса, при котором состояния основных переменных могут порождаться по множеству параметров при любых начальных или граничных условиях, системы уровня 2 называются *порождающими* системами *(generative system).* При конструировании на уровне 2 располагаются базы знаний, связанные с расчетом конструкций, при проектировании технологических процессов – базы знаний по выбору заготовок, формированию набора переходов, расчету режимов обработки, норм времени и т.п.

На уровне 3 эпистемологии и выше, системы формируются из набора определений и некоторых компонентов систем, работающих на более низком уровне – *мета характеристики* (правила, отношения, процедуры).

Выбор языка представления знаний

В системе имеется возможность представления знаний на различных естественных языках [9]. Как было отмечено выше, наименования и имена переменных, используемые для входных, управляемых и выходных данных, могут быть переименованы для обеспечения большей уникальности модулей знаний. Они должны выбираться из словаря базы знаний, который представлен для русского языка на рисунке 12. Вместе с тем в качестве языка может быть выбран любой естественный язык.

На рисунке 12 отображается внешнее представление модуля, которое в инженерных книгах часто представляется в виде формул.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Модуль: V13
Разработчик: Евгенев Г. Б.
Наименование: Расчет номинальной величины деформации
Источник информации: Шувалов С. А. Методические указания по расчету волновых зубчатых передач на ЭВМ. Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1987

Наименование	Имя	Ограничение
Тип редуктора	ТипРед	волновой одновенцовый
Передаточное отношение заданное	uz	(0,)
Число зубьев гибкого Колеса предварительно	zf	
Коэффициент увеличения вращающего момента при пуске	K1	1.9
Номинальная величина радиальной деформации	NWo	0.84+0.001*uz+1.6*10^(-3) *K1*uz^(1/2)+0.15*10^(-3) *K1*uz
Глубина захода зубьев допустимая, мм	hd	4*NWo-(4.6-4*NWo)*zf/10^3-2.45

Рисунок 12 - Внешнее представление модуля с формулами на русском языке
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125.14

На иллюстрации рисунка 13 показано, как выглядит тот же модуль на китайском языке.

模块: V13
开发商 : Евгенев Г. Б.
姓名 : 名义变形值的计算
信息来源 : Шувалов С. А. Методические указания по расчету волновых зубчатых передач на ЭВМ. Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1987

参数名称	姓名	意义
减速机类型	ТипРед	波单冠
传动比给定	uz	(0,)
柔性轮预齿数	zf	
启动扭矩增加系数	K1	1.9
额定值	NWo	0.84+0.001*uz+1.6*10^(-3) *K1*uz^(1/2)+0.15*10^(-3) *K1*uz
径向变形 允许的齿深, мм	hd	4*NWo-(4.6-4*NWo)*zf/10^3-2.45

Рисунок 13 - Внешнее представление модуля с формулами на китайском языке
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125.15

Генерация программ

В данной системе существует функция, которая позволяет создавать компьютерные программы, основанные на разработанных базах знаний. Рисунок 14 демонстрирует протокол работы этой функции. Он отображает процесс создания программы для модуля «MPrObCnO» – протокол проектирования переходов обработки осевых конических отверстий, внутренних резьб М и конусов представлен в модуле проектирования обработки. Приведен протокол проектирования переходов обработки конусов при работе базы знаний.

 © Авторы статьи / Authors of the article

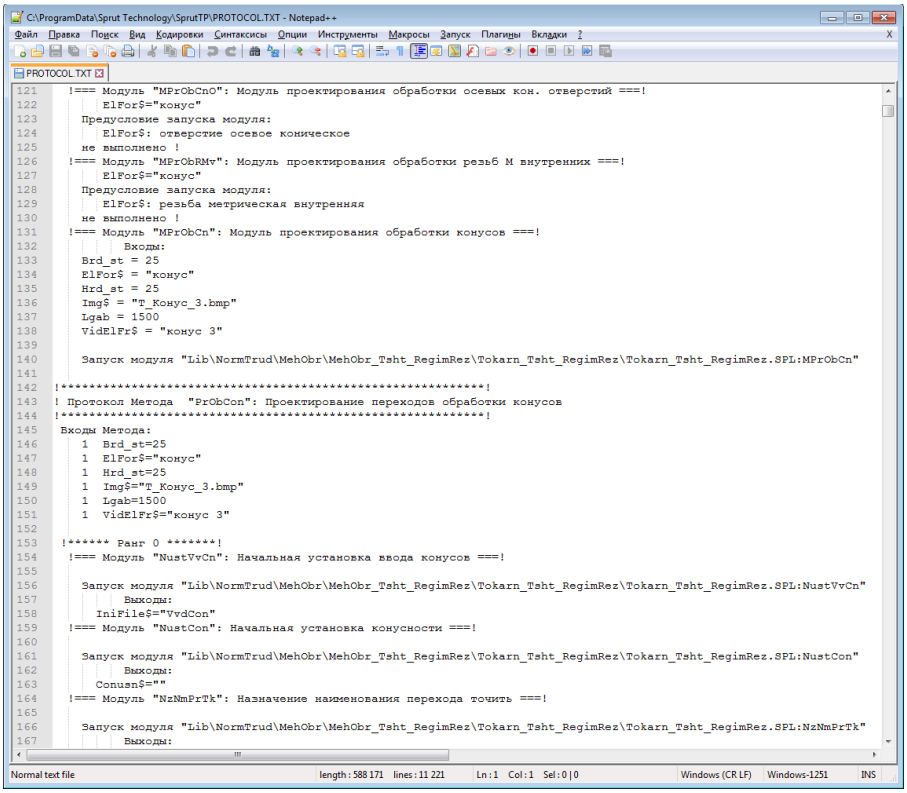


Рисунок 14 - Процедура функционирования компьютерного программного генератора
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125.16

Можно отказаться от использования методов, разработанных для системы СПРУТ-БЗ, в Базе Знаний и применять их в других прикладных системах.

Для автономного запуска метода необходимо сгенерировать программу, с помощью которой можно заполнить исходные данные для запуска метода, запустить метод и расшифровать результаты, рассчитанные этим методом.

Для того чтобы запустить метод автономно, необходимо войти в систему СПРУТ и создать новый проект в разделе «Каталог программ для автономного запуска». Обычно данный раздел находится в каталоге \Run, сгенерированная программа Метода будет включена в проект и запущена после оттранслирования проекта.

На экране появится специальное меню, предназначенное для запуска определенного метода (рис. 15).

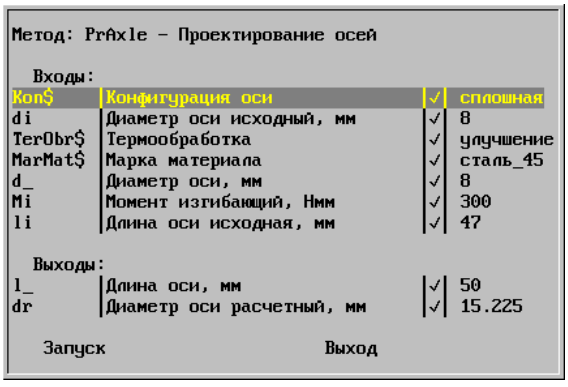


Рисунок 15 - Запуск сгенерированной программы
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125.17

В этом меню можно заполнить входы значениями. Также здесь можно настроить параметры метода в разделе «Параметры». После заполнения всех необходимых полей, можно запустить метод, нажав на кнопку «Запуск». В случае необходимости можно выбрать пункт меню «Выход», который завершает работу с меню.

Заключение

Представлена методология и средства программной инженерии с автоматическим программированием, а также с возможностью использования различных естественных языков. Дано описание банка знаний и эпистемологических уровней представления знаний. Описаны: словарь базы знаний, комбинированные модули с формулами, модули – таблицы, модули геометрических процедур, модули выбора из базы данных, модули генерации 3D моделей, модули

 © Авторы статьи / Authors of the article

решения систем уравнений, методология экспертного программирования, классификация уровней знаний, выбор языка представления знаний, а также генерация программ и запуск сгенерированной программы. Предлагаемая методология использует алгоритмы, основанные на многоагентном подходе с применением продукционных баз знаний, генерирующих параметризованные 3D-модели и применяемые при разработке искусственного интеллекта. Новизна и общемировая тенденция заключается в цифровизации всех аспектов инженерной деятельности с повышением квалификации и профессионализма инженеров за счет совокупного накопления и распределения знаний.

Разработанная методология применима к различным случаям типового вариантного проектирования изделий машиностроения, помогает снизить себестоимость проектирования и производства благодаря снижению трудовых затрат большого числа профессиональных проектировщиков, конструкторов, технологов и программистов.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Маняшин А.В., Тюменский Индустриальный университет, Тюмень Российская Федерация
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125.18

Conflict of Interest

None declared.

Review

Manyashin A.V., Tyumen Industrial University, Tyumen Russian Federation
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.125.18

Список литературы / References

1. ГОСТ Р 1.0-2004. Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения. — Введ. 2005-07-01 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. — URL: https://docs.cntd.ru/document/1200038794 (дата обращения: 11.10.2023).

2. Евгенев Г.Б. Основы автоматизации технологических процессов и производств, Информационные модели. Методы проектирования и управления / Г.Б. Евгенев. — Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. — 441 с.

3. Евгенев Г.Б. База знаний для промышленного интернета вещей как часть Экспертопедии / Г.Б. Евгенев, А.Н. Кирияк // Высшая школа: научные исследования. — Уфа: Инфинити, 2020. — С. 183-191. — DOI: 10.34660/INF.2020.14.20.001.

4. СПРУТ-Технология. Автоматизация проектирования. — URL: https://sprut.ru/ (дата обращения: 11.10.2023).

5. Кирияк А.Н. Архитектура Industry 5.0 как средство интеграции систем проектирования и производства / А.Н. Кирияк, Г.Б. Евгенев // Discovery Science: University 2022: XI Международный интеллектуальный конкурс студентов, аспирантов, докторантов: итоговый отчет. — М.: РусАльянс Сова, 2022.

6. Колесов Ю.Б. Моделирование систем. Практикум по компьютерному моделированию / Ю.Б. Колесов, Ю.Б. Сениченков. — СПб.: БХВ-Петербург, 2007. — 544 с.

7. Тарасов В.Б. Искусственный интеллект: от прошлого к будущему. О жизненном пути и научном наследии профессора Д.А. Поспелова / В.Б. Тарасов // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. — 2020. — № 4. — С. 19-42.

8. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач / Дж. Клир. — М.: Радио и связь, 1990. — 544 с.

9. Evgenev G.B. Expert Programming Technology in Chinese / G.B. Evgenev // Scientific Research of the SCO Countries: Synergy and Integration. — Ufa: Infinity, 2022. — P. 130-137. — DOI 10.34660/INF.2022.97.65.101.

10. Евгенев Г.Б. Разработка интеллектуальной системы трехмерного проектирования деталей. Часть 2 / Г.Б. Евгенев, А.А. Кокорев, М.В. Пиримяшкин // Инженерный вестник. — 2016. — № 2. — С. 6.

11. Leidner D. Knowledge-enabled Parameterization of Whole-body Control Strategies for Compliant Service Robots / D. Leidner, A. Dietrich, M. Beetz [et al.] // Auton Robot. — 2016. — Vol. 40. — P. 519-536. — DOI: 10.1007/s10514-015-9523-3.

12. Tseng K.C. An intelligent system based on concurrent engineering for innovative product design at the conceptual design stage / K.C. Tseng, W. El-Ganzoury // Int J Adv Manuf Technol. — 2012. — Vol. 63. — P. 421-447. — DOI: 10.1007/s00170-012-3932-7.

13. Naveen P.N.E. Design and Optimization of Nylon 66 Reinforced Composite Gears Using Genetic Algorithm / P.N.E. Naveen, M. Chaitanya Mayee, Pothala Gayathri [et al.] // Materials Today: Proceedings. — 2021. — Vol. 46. — Pt. 1. — P. 514-519. — DOI: 10.1016/j.matpr.2020.10.694.

Список литературы на английском языке / References in English

1. GOST R 1.0-2004. Standartizacija v Rossijskoj Federacii. Osnovnye polozhenija [Standardisation in the Russian Federation. Basic Provisions]. — Introduced 2005-07-01 // Electronic fund of legal and regulatory documents. — URL: https://docs.cntd.ru/document/1200038794 (accessed: 11.10.2023). [in Russian]

2. Evgenev G.B. Osnovy avtomatizacii tehnologicheskih processov i proizvodstv, Informacionnye modeli. Metody proektirovanija i upravlenija [Fundamentals of Automation of Technological Processes and Productions, Information Models. Design and Control Methods] / G.B. Evgenev. — Moscow: Publishing House of N.E. Bauman Moscow State Technical University, 2015. — 441 p. [in Russian]

3. Evgenev G.B. Baza znanij dlja promyshlennogo interneta veshhej kak chast' Jekspertopedii [Knowledge Base for Industrial Internet of Things as a Part of Expertopaedia] / G.B. Evgenev, A.N. Kiriyak // Vysshaja shkola: nauchnye issledovanija [Higher School: scientific research]. — Ufa: Infinity, 2020. — P. 183-191. — DOI: 10.34660/INF.2020.14.20.001. [in Russian]

 © Авторы статьи / Authors of the article

4. SPRUT-Tehnologija. Avtomatizacija proektirovanija [SPRUT-Technology. Design Automation]. — URL: https://sprut.ru/ (accessed: 11.10.2023). [in Russian]

5. Kiriyak A.N. Arhitektura Industry 5.0 kak sredstvo integracii sistem proektirovanija i proizvodstva [Industry 5.0 Architecture as a Means of Integration of Design and Production Systems] / A.N. Kiriyak, G.B. Evgenyev // Discovery Science: University 2022: XI Mezhdunarodnyj intellektual'nyj konkurs studentov, aspirantov, doktorantov: itogovyj otchet [Discovery Science: University 2022: XI International Intellectual Contest of Students, Postgraduates, Doctoral Students: final report]. — M.: RusAl'jans Sova, 2022. [in Russian]

6. Kolesov Ju.B. Modelirovanie sistem. Praktikum po komp'juternomu modelirovaniju [Systems Modelling. Workshop on computer modelling] / Ju.B. Kolesov, Ju.B. Senichenkov. — SPb.: BHV-Petesrburg, 2007. — 544 p. [in Russian]

7. Tarasov V.B. Iskusstvennyj intellekt: ot proshlogo k budushhemu. O zhiznennom puti i nauchnom nasledii professora D.A. Pospelova [Artificial Intelligence: from the Past to the Future. On the life path and scientific heritage of Professor D.A. Pospelov] / V.B. Tarasov // Otkrytye semanticheskie tehnologii proektirovanija intellektual'nyh sistem [Open semantic technologies for designing intelligent systems]. — 2020. — № 4. — P. 19-42. [in Russian]

8. Clear J. Sistemologija. Avtomatizacija reshenija sistemnyh zadach [Systemology. Automation of System Problem Solving] / J. Clear. — M.: Radio and Communication, 1990. — 544 p. [in Russian]

9. Evgenev G.B. Expert Programming Technology in Chinese / G.B. Evgenev // Scientific Research of the SCO Countries: Synergy and Integration. — Ufa: Infinity, 2022. — P. 130-137. — DOI 10.34660/INF.2022.97.65.101.

10. Evgenev G.B. Razrabotka intellektual'noj sistemy trehmernogo proektirovanija detalej. Chast' 2 [Development of the Intellectual System of Three-Dimensional Part Design. Part 2] / G.B. Evgenev, A.A. Kokorev, M.V. Pirimyashkin // Inzhenernyj vestnik [Engineering Bulletin]. — 2016. — № 2. — P. 6. [in Russian]

11. Leidner D. Knowledge-enabled Parameterization of Whole-body Control Strategies for Compliant Service Robots / D. Leidner, A. Dietrich, M. Beetz [et al.] // Auton Robot. — 2016. — Vol. 40. — P. 519-536. — DOI: 10.1007/s10514-015-9523-3.

12. Tseng K.C. An intelligent system based on concurrent engineering for innovative product design at the conceptual design stage / K.C. Tseng, W. El-Ganzoury // Int J Adv Manuf Technol. — 2012. — Vol. 63. — P. 421-447. — DOI: 10.1007/s00170-012-3932-7.

13. Naveen P.N.E. Design and Optimization of Nylon 66 Reinforced Composite Gears Using Genetic Algorithm / P.N.E. Naveen, M. Chaitanya Mayee, Pothala Gayathri [et al.] // Materials Today: Proceedings. — 2021. — Vol. 46. — Pt. 1. — P. 514-519. — DOI: 10.1016/j.matpr.2020.10.694.