

Технология и технологические машины

УДК 004.624



ЕВГЕНЕВ
Георгий Борисович
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

EUGENEV
Georgy Borisovich
(Moscow, Russian Federation,
MSTU named
after N.E. Bauman)



КУЗЬМИН
Борис Владимирович
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

KUZMIN
Boris Vladimirovich
(Moscow, Russian Federation,
MSTU named
after N.E. Bauman)

Метод генерации баз знаний структурного синтеза маршрутных технологических процессов

Г.Б. Евгениев, Б.В. Кузьмин

Создание интеллектуальных систем автоматизации проектирования технологических процессов — важное направление совершенствования технологической подготовки машиностроительного производства. Использование таких систем позволяет повысить производительность работы технологов за счет автоматической генерации технологических процессов и улучшить их качество путем использования опыта наиболее квалифицированных специалистов. Носителями знаний в этой области являются технологи, не владеющие информационными технологиями создания баз знаний. Для решения данной проблемы необходимо разработать метод и средство, позволяющие для генерации баз знаний использовать слегка модифицированный язык написания технологических процессов в стандартных маршрутных картах. В статье описан новый метод, позволяющий технологам генерировать базы знаний структурного синтеза маршрутных технологических процессов. Этот метод, встроенный в систему СПРУТ-ТП, доказал свою высокую эффективность.

Ключевые слова: проектирование технологических процессов, системы автоматизации проектирования технологических процессов, базы знаний.

Method of Generating a Knowledge Base of Structural Synthesis of Route Process

G.B. Eugenev, B.V. Kuzmin

Developing computer automated aided process planning (CAPP) systems is an important way to improve the technological preparation for production

engineering. The use of such systems allows to raise the performance of technologists work by automatically generating process plans and to improve their quality by using the experience of the most qualified experts. Carriers of knowledge in this area are those mentioned technologists, not owning information technology of a knowledge base building. To solve this problem, it is necessary to develop for generation of a knowledge base a method and expert system that should render possible using a slightly modified plain language in a form of standard route sheets. The article describes a new method that enables generating a knowledge base of structural synthesis route process. This method built into SPRUT TP system is proved to be very effective.

Keywords: CAPP, route process, knowledge base.

Важным направлением дальнейшего совершенствования систем автоматизации проектирования технологических процессов (САПР ТП) является их интеллектуализация [1]. Это означает, что такие системы должны в максимально возможной степени использовать в качестве своих активных компонент базы знаний [2, 3]. Базы знаний позволяют сохранять лучший опыт квалифицированных пользователей в форме, доступной как для по-

нимания непрограммирующими пользователями, так и для автоматического использования системами автоматизации [4, 5].

Существуют два принципиально различных способа представления знаний: процедурный, или алгоритмический, и не процедурный, или декларативный. В первом способе для создания автоматизированных систем необходимо использовать труд программистов. Этот путь является трудоемким и затратным. Использование декларативной формы представления знаний характерно для создания интеллектуальных систем [2]. При этом создание систем может быть поручено непосредственно носителям знаний, которыми в данном случае являются технологи, что значительно сокращает трудоемкость и стоимость создания и развития систем.

Структура проектирования технологических процессов. Функциональная диаграмма проектирования технологических процессов (ТП) приведена на рис. 1 [1].

Первый функциональный блок диаграммы — блок синтеза структуры ТП. Входная информация для него содержится в модели изделия, а на выходе этого блока формируется последовательность операций и переходов. Последовательность операций и переходов составляет основное



Рис. 1. Функциональная диаграмма проектирования ТП

содержание маршрутного ТП. Механизмом реализации этой функции является технологическая база знаний, рассматриваемая в настоящей статье.

Следующий функциональный блок обеспечивает оснащение ТП, т. е. выбор станков, приспособлений, инструментов и других средств технологического оснащения. В результате формируются операции и переходы с указанием ресурсов, необходимых для их реализации. Оснащение ТП производится технологической базой знаний с использованием технологической базы данных ресурсов.

Далее следует функциональный блок, обеспечивающий нормирование ТП, т. е. расчет необходимых норм времени на операции и переходы. На выходе этого блока формируется последовательность оснащенных и отнормированных операций и переходов, на основе которых может производиться генерация технологической документации и формирование модели ТП. Механизмом реализации этой функции является база знаний, использующая при необходимости технологические данные.

Формирование и редактирование технологической документации может также выполняться вручную с помощью соответствующего интерфейсного объекта.

Стандарт IDEF3. Для формирования моделей структур ТП целесообразно использовать стандартный метод и нотацию. Наиболее для этого подходит IDEF3, который является стандартом описания ТП и определяет нотацию для представления метамodelей структуры процессов и последовательности изменений свойств изготавливаемого объекта.

Средства документирования и моделирования IDEF3 позволяют выполнять следующие задачи:

1) документировать знания о вариантах последовательностей выполнения технологических операций и переходов изготовления изделий определенного класса для разработки баз знаний генерации структуры ТП обработки конкретной детали или сборки-сварки сборочной единицы;

2) строить диаграммы состояния обрабатываемых объектов в процессе выполнения ТП.

В соответствии с этим существуют два типа диаграмм в стандарте IDEF3, представляющих описание одного и того же ТП с разных точек зрения. Диаграммы, относящиеся к первому типу, называются диаграммами описания последовательности этапов процесса (Process Flow Description Diagrams — PFDD), а ко второму — диаграммами состояния объекта и его трансформаций в процессе (Object State Transition Network — OSTN). В данной статье рассмотрены диаграммы первого типа.

Прямоугольники на диаграмме PFDD называются функциональными элементами, или элементами поведения (Unit of Behavior — UOB) и обозначают событие, стадию процесса или принятие решения. Каждый UOB имеет свое имя, отображаемое в глагольном наклонении и уникальный номер. Стрелки или линии являются отображением перемещения детали между UOB-блоками в ходе процесса. Линии бывают следующих видов:

- старшая (Precedence) — сплошная линия, связывающая UOB. Рисуются слева направо или сверху вниз;
- отношения (Relational Link) — пунктирная линия, используемая для изображения связей между UOB;
- потоки объектов (Object Flow) — стрелка с двумя наконечниками. Служит отражением того факта, что объект (деталь) используется в двух или более единицах работы, например, когда объект порождается в одной работе и используется в другой.

Элемент, обозначенный J_n , называется перекрестком (Junction). Здесь J префикс, а n — порядковый номер перекрестка. Перекрестки используются для отображения логики взаимодействия стрелок (потоков) при слиянии и разветвлении или для отображения множества событий, которые могут или должны быть завершены перед началом следующей работы. Различают перекрестки для слияния (Fan-in Junction) и разветвления (Fan-out Junction) стрелок. Перекресток не может использоваться одновременно для слияния и для разветвления. При внесении перекрестка в диаграмму необходимо указать его тип. Применительно к рас-

смаатриваемой теме нас интересуют перекрестки типа исключающего ИЛИ (X).

Каждый функциональный блок UOB может иметь последовательность декомпозиций, и, следовательно, может быть детализирован с любой необходимой точностью. Под декомпозицией понимают представление каждого UOB с помощью отдельной IDEF3 диаграммы. Диаграмма, полученная в результате декомпозиции называется дочерней по отношению к исходной, а исходная — соответственно родительской.

Номера UOB дочерних диаграмм имеют сквозную нумерацию, т. е., если родительский UOB имеет номер 1, то блоки UOB на его декомпозиции будут соответственно иметь номера 1.1, 1.2 и т. д. Применение принципа декомпозиции в IDEF3 позволяет структурировано описывать процессы с любым требуемым уровнем детализации.

Метамодел ь ТП. Рассмотрим применение методики IDEF3 на примере формирования метамодели ТП (МТП) обработки цилиндрических зубчатых колес (рис. 2). Первым функциональным элементом (UOB) МТП является

блок заготовительных операций, который целесообразно декомпозировать отдельно в виде дочерней модели (рис. 3). Данная модель начинается с перекрестка типа исключающего ИЛИ. Такие перекрестки наиболее часто используются при формировании МТП. Этот перекресток помимо формального идентификатора J6 имеет имя «Заготовка» и относится к типу разветвления (Fan-out Junction) стрелок. Каждая из отходящих от него стрелок имеет собственное имя: «литье», «штамповка» и «круг». Таким образом, можно считать, что «Заготовка» является символьной переменной, принимающей одно из трех перечисленных значений. В зависимости от этих значений выполняются различные заготовительные операции. Если переменная принимает значение «литье», то выполняется соответствующая литейная операция. В случае значения «штамповка» выполняются операции «Пило-отрезная», посредством которой подготавливается заготовка для штамповки, и собственно операция «Штамповка».

В том случае, когда значением переменной «Заготовка» является «круг», заготовка колеса

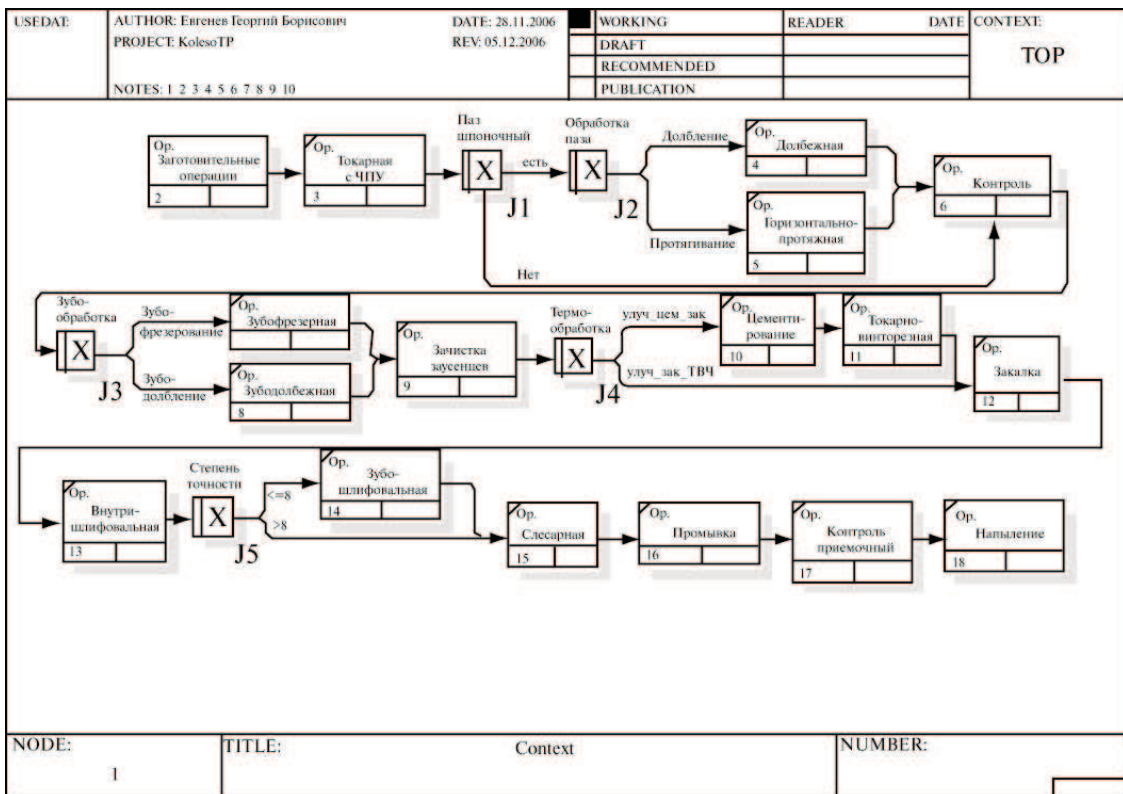


Рис. 2. Диаграмма PFDD процесса обработки цилиндрических зубчатых колес

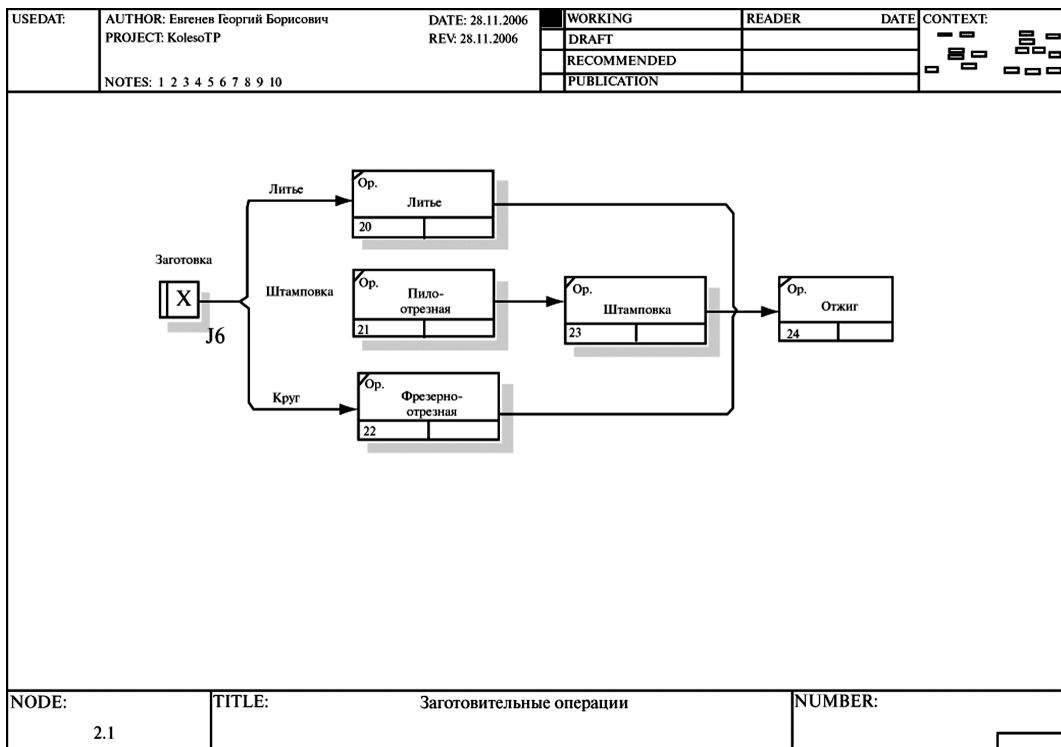


Рис. 3. Дочерняя диаграмма заготовительных операций для цилиндрических зубчатых колес

отрезается от проката соответствующего профиля посредством операции «Фрезерно-отрезная». Во всех случаях заготовка колеса поступает на операцию «Отжиг» для улучшения обрабатываемости материала.

После заготовительных операций основные поверхности обода, диска и ступицы колеса зубчатого, включая осевое отверстие, обрабатываются на операции «Токарная с ЧПУ» (см. рис. 2). Далее следует перекресток, разветвляющий ТП в зависимости от наличия или отсутствия у детали шпоночного паза. Если этого паза нет, то следующей после токарной операции с ЧПУ будет операция «Контроль». Если паз есть, то может быть выбран один из двух вариантов обработки — долблением или протягиванием, после которых выполняется контрольная операция.

Следующий перекресток обеспечивает выбор операций зубообработки. В данном случае возможны два варианта: зубофрезерование или зубодолбление. В обоих случаях после этих операций производится зачистка заусенцев, за которой следует перекресток, обеспечивающий выбор операций термообработки из двух вариантов: улучшение, цементирование и закалка (улуч_цем_зак) или улучшение и закалка ТВЧ

(улуч_зак_ТВЧ). В первом случае после операции цементирования следует токарно-винторезная операция для снятия поверхностного слоя материала там, где это необходимо. В обоих случаях выполняется операция закалки, после которой следует внутришлифовальная операция для обработки осевого отверстия ступицы колеса.

Дальнейшая обработка зависит от заданной конструктором степени точности зубчатого венца: при степени точности, равной 8 и менее, должна выполняться операция зубошлифования. После этой операции следует обязательная последовательность заключительных операций: слесарная, промывка, контроль приемочный и напыление.

В общем случае описанная МТП представляет собой И-ИЛИ-граф. Связки типа И определяют безусловную последовательность операций. В связках типа ИЛИ имеются перечисляемые переменные с фиксированным набором допустимых значений, которые и определяют выбор одного из вариантов ТП. Эти переменные делятся на два класса: свободные и связанные. Значения свободных переменных может выбирать технолог, а связанные определяются конструкторской документацией.

В описанной МТП связанными переменными являются: «Паз шпоночный», «Термообработка» и «Степень точности». Свободные переменные включают: «Заготовка», «Обработка паза» и «Зубообработка».

Метод создания баз знаний структурного синтеза. Рассмотренные выше диаграммы процессов в стандарте IDEF3 представляют собой

концептуальные модели знаний структурного синтеза ТП. Эти знания необходимо ввести в компьютер и обеспечить автоматическую генерацию маршрутных ТП в зависимости от значений управляющих свободных и связанных переменных. Язык представления таких знаний должен быть максимально упрощен и доступен для непрограммирующих пользова-

ООО "Центр СТР" г.т., Москва, (495) 265-65-00, www.str.ru

ГОСТ 3.1118-82 Форма 1

Доп.																			
Взам.																			
Подп.																			
Разработал																			
Исполнитель																			
И																			
И																			
А																			
Б																			
Условие										#Загов# = "лите"									
А																			
Конец условия																			
Условие										#Загов# = "шажковка"									
А																			
А																			
Конец условия																			
Условие										#Загов# = "фру"									
А																			
Конец условия																			
А																			
А																			
Условие										#Раз# = "ест"									
МК																			

a

ООО "Центр СТР" г.т., Москва, (495) 265-65-00, www.str.ru

ГОСТ 3.1118-82 Форма 1б

Доп.																			
Взам.																			
Подп.																			
А																			
Б																			
КМ																			
Условие										#Обр_Раз# = "долбежка"									
А																			
Конец условия																			
Условие										#Обр_Раз# = "прокатка"									
А																			
Конец условия																			
Условие										#Обр_Об# = "зубообработка"									
А																			
Конец условия																			
Условие										#Обр_Об# = "зубодолбежка"									
А																			
Конец условия																			
А																			
Условие										#Гем_Об# = "гун_це_ш_зам"									
МК																			

б

Рис. 4. Формы ввода диаграммы процесса обработки цилиндрических зубчатых колес (начало)

ООО "Синер СПРУТ-Т", Москва, 1420 289-85-00, www.sprut.ru										ГОСТ 3.1118-82 Форма 16									
Дисп.																			
Взам.																			
Подл.																			
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции					Обозначение документа									
Б	Код, наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кит.	Тиз	Тул.			
КМ	Наименование детали, об.ед. или материала					Обозначение, код													
А					5120	Центрирование					ИО ЗТ.104.52.182-84								
А					4114	Токарно-интрезная					ИОТЗТ-104.0525-95								
А					5030	Закалка					ИО ЗТ.104.52.182-84								
Конец условия																			
Условие #Tem_Obr# = "Уплн_зак_ТВЧ"																			
А					5030	Закалка					ИО ЗТ.104.52.182-84								
Конец условия																			
А					4132	Внутренняя шлифовка					ИОТЗТ-104.0525-95								
Условие #Shp_Toc11# = 8																			
А					4151	Зубошлифовка					ИОТЗТ-104.0525-95								
Конец условия																			
А					0108	Слесарная					ИОТЗТ-104.0529-92								
А					0125	Прошивка					ИОТЗТ-104.0529-92								
А					0200	Контроль					ИОТЗТ-104.0529-92								
А					7440	Напыление					ИОТЗТ-104.0529-92								
МК																			

6

Рис. 4. Формы ввода диаграммы процесса обработки цилиндрических зубчатых колес (окончание)

телей. Для технологов наиболее естественным является заполнение стандартной технологической документации, например маршрутных карт. По этой причине в системе СПРУТ ТП [6] для представления знаний о структуре операций ТП использованы модернизированные стандартные маршрутные карты. В таких картах ТП описывается с помощью стандартных строк типа А и типа Б. Строки типа А предназначены для задания параметров операций, а строки типа Б — для описания используемого оборудования (рис. 4). Чтобы получить возможность формирования диаграмм ТП в стандарте IDEF3 к числу стандартных технологических строк типа А и типа Б необходимо добавить строки, позволяющие задавать условия вхождения операций в итоговый ТП. Эти условия должны позволять описывать логические связи типа исключаящего ИЛИ.

Для задания логических связей в форму маршрутной карты введены строки типа «Условие» и «Конец условия». Эти строки в совокупности с заключенными между ними стандартными технологическими строками представляют собой аналог правила-продукции. Весь массив такой информации может рассматриваться как

своеобразный аналог базы знаний продукционного типа с упорядочением правил во времени.

На рисунке 4 приведены формы ввода диаграммы процесса обработки цилиндрических зубчатых колес, соответствующие IDEF3 диаграммам, изображенным на рис. 2 и рис. 3. Содержание рис. 4, а соответствует диаграмме рис. 3. В зависимости от значения переменной #Zagot# выбирают те или иные заготовительные операции, которые заносятся в итоговый документ. Далее идут безусловно назначаемые операции «Отжиг» и «Токарная с ЧПУ».

Затем следует конструкция со вложенными условиями (рис. 4, б). Первое условие зависит от значения переменной #Paz#, которая может принимать значения «есть» и «нет». За ним непосредственно следует условие с переменной #Obr_Paz#, в зависимости от значения которой назначается либо «Долбежная», либо «Протяжная» операция.

Далее занесены подряд две строки «Конец условия», первая из которых соответствует условию #Paz#, а вторая — #Obr_Paz#. Если шпоночного паза нет, то операции его обработки опускаются, и назначается безусловная операция «Контроль».

После этого выполняются операции зубообработки, выбор которых зависит от значения переменной #Zub_Obr#, и зачистки заусенцев. Термообработка определяется переменной #Term_Obr#, после чего всегда выполняется внутришлифовальная операция. Зубошлифовальная операция назначается при степени точности зубьев не более 8 (#Step_Toch#<=8). Технологический процесс всегда завершается набором операций «Слесарная», «Промывка», «Контроль приемочный» и «Напыление».

Выводы

1. Разработан метод генерации баз знаний структурного синтеза маршрутных ТП, доступный для использования непрограммирующими технологами.

2. Как показывает опыт эксплуатации интеллектуальных систем, основанных на базах знаний, производительность труда технологов повышается в 2–3 раза за счет автоматической генерации ТП. Одновременно с этим происходит улучшение качества результатов проектирования в связи с использованием лучших апробированных решений.

Литература

1. *Евгеньев Г.Б.* Интеллектуальные системы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 416 с.
2. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. СПб: Питер, 2000. 384 с.
3. *Newman, S., Nassehi, A.* Machine tool capability profile for intelligent process planning // *CIRP Annals — Manufacturing Technology*. 2009. No. 58 (1). P. 421–424.
4. *Гришин Н.С., Крюков С.С.* Интеллектуальная подсистема проектирования и нормирования технологических процессов дуговой сварки // *Эффективные методы автома-*

тизации подготовки и планирования производства: Сб. науч. тр. М.: Издат. дом «Спектр», 2011. С. 50–64.

5. *Кокорев А.А., Кузьмин Б.В., Стисес А.Г.* Методы интеграции САПР-ТП в единое информационное пространство предприятия // *Эффективные методы автоматизации подготовки и планирования производства: Сб. науч. тр. М.: Издат. дом «Спектр», 2011. С. 35–49.*

6. *Евгеньев Г.Б., Кузьмин Б.В.* Технология создания прикладных интеллектуальных систем в машиностроении // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение. Спец. вып. Эффективные методы автоматизации подготовки и планирования производства. 2012. С. 51–59.*

References

1. Evgenev G.B. *Intellektual'nye sistemy proektirovaniia [Intelligent design system]*. Moscow, MSTU named after N.E. Bauman publ., 2012. 416 p.
2. GavriloVA T.A., Khoroshevskii V.F. *Bazy znaniy intellektual'nykh sistem [Knowledge base of intelligent systems]*. St. Petersburg, Piter publ., 2000. 384 p.
3. Newman S., Nassehi A. *Machine Tool Capability Profile for Intelligent Process Planning*. *CIRP Annals — Manufacturing Technology*, 2009, no. 58 (1), pp. 421–424.
4. Grishin N.S., Kriukov S.S. *Intellektual'naia podsystema proektirovaniia i normirovaniia tekhnologicheskikh protsessov dugovoi svarki [Intelligent subsystem design and standardization process of arc welding]. *Effektivnye metody avtomatizatsii podgotovki i planirovaniia proizvodstva: Sbornik nauchnykh trudov [Effective methods and automation in production planning: Proceedings]*. Moscow, Izdatel'skii dom «Spektr» publ., 2011, pp. 50–64.*
5. Kokorev A.A., Kuz'min B.V., Stises A.G. *Metody integratsii SAPR-TP v edinoe informatsionnoe prostranstvo predpriatiia [Methods for integrating CAD-TP into a single information space enterprise]. *Effektivnye metody avtomatizatsii podgotovki i planirovaniia proizvodstva: sbornik nauchnykh trudov [Effective methods and automation in production planning: Proceedings]*. Moscow, Izdatel'skii dom «Spektr» publ., 2011, pp. 35–49.*
6. Evgenev G.B., Kuzmin B.V. *Tekhnologiiia sozdaniia prikladnykh intellektual'nykh sistem v mashinostroenii [Technology to create applied intelligent systems in machine building]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Mashinostroenie [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]. *Effektivnye metody avtomatizatsii podgotovki i planirovaniia proizvodstva [Efficient methods for automation of preparation and planning of the production]*. Special issue, 2012, pp. 51–59.**

Статья поступила в редакцию 11.03.2013

Информация об авторах

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: info@rkg.bmstu.ru).

КУЗЬМИН Борис Владимирович (Москва) — ассистент кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Information about the authors

EUGENEV Georgy Borisovich (Moscow) — Dr. Sc. (Eng.), Professor «Computer Systems of Automation of Production» Department. MSTU named after N.E. Bauman. (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: info@rkg.bmstu.ru).

KUZMIN Boris Vladimirovich (Moscow) — Assistant of «Computer Systems of Automation of Production» Department. MSTU named after N.E. Bauman. (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation).