

## ПРИМЕНЕНИЕ ТАБЛИЧНОГО ПРОЦЕССОРА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Д. Д. Куликов, С. О. Носов

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: nosovserzh@gmail.com*

Рассматривается система принятия решений на основе справочных таблиц технологического назначения. Система представляет собой компонент распределенной web-ориентированной технологической интегрированной среды. Предложены методы повышения эффективности принятия решений за счет семантической интеграции САПР, а также использования единого информационного пространства на основе онтологического подхода.

**Ключевые слова:** автоматизация проектирования технологических процессов, таблицы принятия решений, параметрическая модель детали, семантика

Важнейшей задачей технологической подготовки производства (ТПП) в приборостроении является проектирование технологических процессов (ТП) и изготовление изделий. За последние годы в ТПП стали использовать целый комплекс САД/САЕ/САМ/САРР-систем, позволивших снизить стоимость ТПП и повысить ее эффективность. В настоящее время создан и функционирует ряд систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП). Однако даже при активном использовании САПР ТП проектирование ТП весьма трудоемко, принимаемые при этом проектные решения часто субъективны и далеки от оптимальных вследствие:

— недостаточно высокого уровня формализации технологических задач, таких как: синтез маршрута ТП и структуры технологических операций и переходов, выбор схемы базирования и т.д.;

— высокой вариативности проектируемых процессов, что вызывает трудности их оптимизации;

— сложности интеграции подсистем ТПП из-за информационной несовместимости сообщений, которыми эти подсистемы обмениваются;

— огромного объема нормативно-справочной информации (НСИ), которая используется при проектировании ТП и лишь частично занесена в базу данных.

Необходимо отметить, что НСИ сосредоточена в основном в технологических справочниках и стандартах. В частности, в справочниках содержатся сотни таблиц, с помощью которых определяют припуски на обработку поверхностей, рассчитывают режимы резания и нормы времени, выбирают сортамент и средства технологического оснащения. Многие параметры в таблицах выражаются через множество допустимых интервалов, нет единства в названиях применяемых понятий (концептов), а также отсутствует их строгая классификация. Кроме того, используются поправочные коэффициенты для более точного определения получаемых нормативов. Все эти сложности ограничивают в САПР ТП уровень автоматизации для модулей принятия решений на основе справочных таблиц.

Идеи, связанные с автоматизацией принятия решений по справочным таблицам, были предложены еще в 1980-х гг. в трудах В. Д. Цветкова [1, 2], Г. К. Горанского [3, 4], С. П. Митрофанова [5, 6]. Проведенные эксперименты показали принципиальную возможность создания соответствующего программного обеспечения для обработки справочных таблиц как некоторой разновидности экспертных систем. Продолжение развития этого подхода нашло

отражение и в современных САПР ТП. Например, развитый аппарат работы с таблицами принятия решений имеется в системе T-FLEX [7], а также в достаточно новой системе Timeline, которая позиционируется как САПР ТП нового поколения [8]. В системе Timeline удалось коммерчески реализовать подход „построения моделей предметных областей на основе семантических подходов“ [8], который до этого предлагался только в научных исследованиях и научно-исследовательских САПР ТП, одной из которых является „Технологическая интегрированная система“ (ТИС), разрабатываемая на кафедре технологии приборостроения Университета ИТМО. Исследования кафедры коррелируют с подходом, предложенным в системе Timeline по задачам, связанным с принятием решений на основе справочных таблиц в САПР ТП. Однако ТИС имеет принципиальные отличия от Timeline, которые рассмотрены ниже.

Рассмотрим задачу принятия решений на основе справочной таблицы, представленной на рис. 1. Таблица позволяет определить подачу для черновой стадии продольного точения заготовок [9].

ПОДАЧА ДЛЯ ЧЕРНОВОЙ СТАДИИ ОБРАБОТКИ. Сталь, чугун, медные и алюминиевые сплавы. Резцы с пластинами из твердого сплава и быстрорежущей стали. Получение 14-го качества детали								Точение продольное и подрезание торцов											
								Карта 3			Лист 2								
№ поз.	Обрабатываемый материал	Глубина резания $t_r$ , мм, до	Диаметр детали $D$ , мм, до					Поправочный коэффициент на подачу $K_{S_{in}}$ в зависимости от инструментального материала											
			18	50	180	500	3150	5000	КНТ16	ВК3-М	ВК6, ТТ8К8	ВК6-М	ВК8	ВК6-ОМ	Т15К6	ТТ10К8Б	ВК10-ОМ	Р6М5	
Подача $S_{o_0}$ , мм/об																			
7	Стали жаропрочные, коррозионно-стойкие, жаростойкие	2	0,18	0,22	0,26	0,36	0,96	-	-	-	1,05	1,00	-	0,85	0,80	-	-	-	-
8		3	0,16	0,20	0,23	0,32	0,85	2,50	-	-	1,00	0,95	1,10	0,85	0,70	1,15	0,90	1,10	
9		5	0,13	0,17	0,20	0,28	0,73	2,30	-	-	1,00	0,95	1,10	0,85	0,70	1,15	0,90	1,10	
10		8	0,11	0,15	0,17	0,24	0,63	2,00	-	-	1,00	0,95	1,10	0,85	0,70	1,15	0,90	1,10	
11		12	-	0,13	0,15	0,22	0,56	1,80	-	-	1,00	0,95	1,10	0,85	0,70	1,15	0,90	1,10	
12		15	-	-	0,14	0,20	0,52	1,70	-	-	1,00	0,95	1,10	0,85	0,70	1,15	0,90	1,10	
13	Чугун серый	2	0,30	0,76	0,97	1,25	2,20	-	0,80	1,00	1,15	0,80	0,85	-	-	-	-	-	1,15
14		3	0,28	0,70	0,90	1,14	2,00	-	0,80	1,00	1,15	0,80	0,85	-	-	-	-	-	1,15
15		5	0,26	0,60	0,80	1,00	1,96	-	0,80	1,00	1,15	0,80	0,85	-	-	-	-	-	1,15
16		8	0,24	0,54	0,70	0,90	1,85	3,20	-	0,80	1,00	1,15	0,80	0,85	-	-	-	-	1,15

Рис. 1

Подача ( $S$ ) зависит от входных параметров, а именно: обрабатываемого материала, глубины резания, диаметра детали. Этим входным значениям соответствует выходное значение подачи  $S_o = 0,20$  мм/об. Далее нужно учесть поправочный коэффициент  $K_{inst}$ , зависящий от инструментального материала. С учетом поправочного коэффициента определяется подача  $S$  по формуле:

$$S = S_o K_{inst}$$

На рис. 1 выбрана марка инструментального материала ВК6-ОМ, следовательно,  $K_{inst} = 0,85$ , тогда  $S = 0,17$  мм/об: таким образом происходит принятие решений на основе справочных таблиц.

ТИС является web-ориентированной системой, предназначенной, в первую очередь, для проектирования ТП, которая функционирует в едином информационном пространстве (ЕИП) для ТПП. Одним из web-компонентов ТИС является табличный процессор (ТИС-ТАП), обеспечивающий принятие решений по технологическим задачам на основе справочных таблиц. В режиме сопровождения ТИС-ТАП технолог формирует правила принятия решений, определяет входные и выходные параметры. Полученная таким образом модель, названная нами „электронной таблицей“ (ЭТ), заносится в базу знаний, организованную с помощью СУБД MongoDB. Нужная ЭТ находится в режиме принятия решений, и после ее загрузки из базы

знаний вводятся значения входных параметров и далее в виде комплекса значений выходных параметров выводится найденное решение.

Экспериментальное исследование ТИС-ТАП показало правильность предложенного подхода. Однако ввод технологом параметров детали (заготовки), технологического процесса и технологической оснастки значительно замедляет процесс принятия решений. Поэтому возникает задача нахождения способа автоматизированной выборки нужной информации об указанных выше объектах.

В настоящее время наблюдается переход от 3D-моделей деталей к их электронно-геометрическим моделям (ЭГМ), которые обладают наибольшей полнотой информации, необходимой для проектирования ТП\*. Однако выборка информации из этого типа моделей достаточно сложна. Не помогает даже перевод ЭГМ в формат STEP, так как сложнейший программный аппарат распознавания нужных объектов из облака точек для данного случая еще только создается.

В работе [10] предложен подход, основанный на автоматическом формировании параметрической модели детали (заготовки) одновременно с созданием ЭГМ в CAD CATIAv5. Параметрическая модель детали (ПМД) выражена в формате XML, разработан комплекс процедур выборки из нее любой требуемой информации. Такой подход позволяет заменить ввод технологом исходных данных автоматическим поиском нужной информации в параметрических моделях деталей и технологическом процессе.

В настоящей работе предлагается метод принятия решений с автоматизированным вводом информации, выбираемой из параметрической модели детали (заготовки) и технологического процесса. Метод основан на использовании таких понятий, как „входная модель“ (ВхМ), „выходная модель“ (ВМ) и „журнал решений“ (ЖР). Под входной моделью будем понимать кортеж входных параметров с их значениями, введенными в систему тем или иным способом. Сам кортеж входных параметров при создании ЭТ определяется на основе использования единого информационного пространства. Это пространство организовано на базе онтологии ТПП и реализовано в виде словарной системы ТИС-Словарь [11]. В словаре для каждого параметра хранится (кроме обозначения) его название, представляющее собой концепт онтологии ТПП, а также набор атрибутов, ограничивающих использование концепта. К ним относятся тип значения параметра (целое, действительное и т.д.), длина поля, пределы допустимых значений параметра, размерность и т.д. Атрибуты используются при вводе значения параметра для обеспечения достоверности вводимой информации. Таким образом обеспечивается единство концептов для всех таблиц, хранимых в базе знаний.

При формировании ВхМ возникает ряд сложностей. Анализ справочника с режимами резания [8] показал, что во многих таблицах значения параметров задаются в виде интервалов (рис. 2, а).

Поэтому при формировании ВхМ необходимо определять, в какой интервал входных условий поместить глубину резания, заданную в технологическом процессе. С этой целью при создании базы знаний для значений параметров задается атрибут — вид значения (в данном случае  $vid = 2$ ) и используется процедура определения интервала, в который попадает значение параметра.

Другим примером могут служить взаимозависимые поля (см. рис. 2, б), когда, например, в зависимости от сечения резца задаются разные интервалы допустимых значений.

Кроме того, интервалы значений твердости или прочности зависят от заданной группы материалов, которые во многих справочных таблицах сформированы по-разному, поэтому

---

\* ГОСТ 2.052-2006. Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения.

необходимо использовать специальные процедуры для объединения марок материалов в нужные группы.

а)

Входные значения в виде интервалов

Глубина резания $t$ , мм, до	0,20	0,50	1,00	1,5
------------------------------	------	------	------	-----

б)

Входные значения, взаимозависимые поля

Резец круглый, диаметром $d$ , мм, до	10	12	16	20	25	30	40
Резец прямоугольный, шириной $B$ , мм, до	25	30	40	50	60	75	—

Рис. 2

Выходная модель — это кортеж выходных параметров вместе с их значениями, полученными в процессе принятия решения. Необходимо отметить, что ВМ может содержать номер ЭТ, которая должна использоваться вслед за текущей таблицей. Эта особенность открывает возможность автоматизированного определения последовательности использования ЭТ и устраняет необходимость поиска нужных ЭТ в каталогах.

В журнал решений последовательно записываются выходные модели, полученные по применяемым ЭТ.

Принятие решений по ЭТ — достаточно сложный процесс, все действия по которому объединены в модуль, названный расчетной моделью, РМ (рис. 3). На первом этапе функционирование табличного процессора начинается с поиска загружаемой таблицы. Если последняя строка ЖР пуста, то открывается каталог ЭТ и технолог, используя поисковые средства каталога, отыскивает и загружает найденную ЭТ или прекращает процесс решения этой задачи.

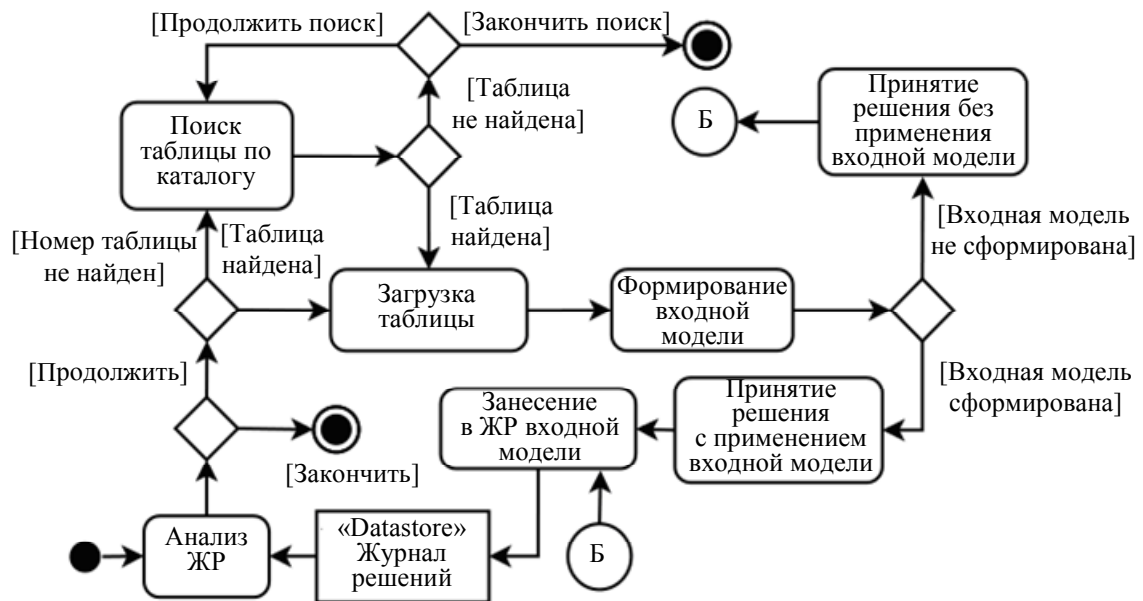


Рис. 3

Если последняя строка ЖР не пуста, то выполняется ее анализ. При наличии в строке ссылки на какую-либо ЭТ последняя вызывается и загружается. Если ЭТ не найдена, то выполняется анализ заданных разделов параметрической модели ТП. Это характерно, например, для унифицированных (типовых и групповых) ТП.

Далее формируется входная модель. Источниками информации для нее могут служить:

- входная модель предшествующей таблицы;
- параметрические модели ТП и детали (заготовки);
- нормативно-справочная информация, хранимая в базе данных.

Если после автоматического анализа этих источников ВхМ не заполнена, то значения незаполненных параметров определяются технологом в режиме диалога. Автоматическое

заполнение входной модели является принципиальным отличием предлагаемого метода формирования ВхМ от других подходов.

После принятия решений формируется выходная модель, которая копируется в последнюю строку журнала решений. Кроме того, часть значений ВМ заносится в модель технологического процесса (МТП) как результат принятия решения (рис. 4). Далее снова анализируется последняя строка ЖР. Так образуется последовательная цепочка РМ, решающая конкретную технологическую задачу.

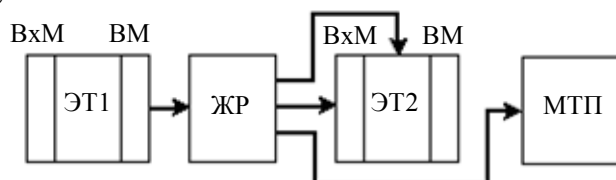


Рис. 4

В качестве результата может быть получено несколько вариантов выходной модели, содержащих ссылки на следующие таблицы. Это позволяет динамически формировать сценарий расчетов в виде расчетной сети, в которой вершинами служат расчетные модели, а дугами — ссылки на эти модели (рис. 5). Технолог, „блуждая“ по сети, т.е. изучая журнал результатов, решает, какие варианты целесообразно использовать для проектируемого варианта технологического процесса. Важно отметить, что при необходимости возможен возврат к любой вершине сети без повторения движения по сети.

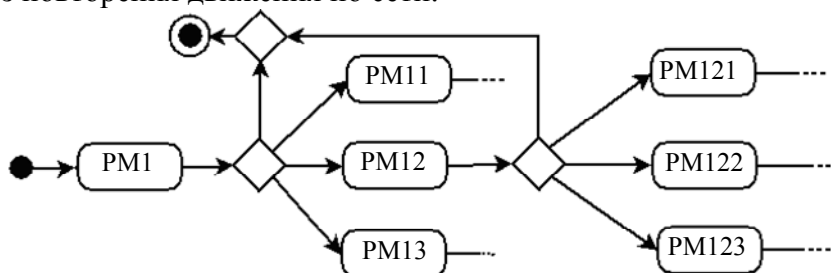


Рис. 5

Исходный сценарий расчетов (последовательность применения ЭТ) заложен в каталог базы знаний. Каталог представляет собой иерархический граф, вершины которого являются ЭТ, а дуги — ссылками на дочерние вершины. Дерево, которое высвечивается при работе с каталогом, легко корректируется путем удаления (вставки) вершин или замены направления дуг с помощью стандартных процедур. Таким образом достигается необходимая гибкость, а также возможность изменения и расширения сценариев расчетов. В процессе расчетов возможно контролировать последовательность решения задачи и вносить необходимые коррективы.

Экспериментальное исследование web-ориентированной ТИС-ТАП и формирование базы знаний для расчета режимов резания показало правильность предложенного подхода к принятию решений рассмотренного класса технологических задач. Возможность автоматической выборки значений параметров из параметрических моделей деталей и процессов, динамическое построение расчетных сетей, функционирующих в едином информационном пространстве, позволяет повысить уровень автоматизации при проектировании технологических процессов. Существенно сокращаются время и стоимость проектирования ТП. Повышаются адаптивные свойства САПР ТП за счет использования базы знаний.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цветков В. Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. Минск: Наука и техника, 1979. 264 с.
2. Цветков В. Д. Система автоматизации проектирования технологических процессов. М.: Машиностроение, 1972. 240 с.

3. Горанский Г. К., Бендерова Э. И. Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства. М.: Машиностроение, 1981. 455 с.
4. Горанский Г. К., Горелик А. К., Зозулевич Д. М. Элементы теории автоматизации машиностроительного проектирования с помощью вычислительной техники. Минск: Наука и техника, 1970. 267 с.
5. Митрофанов С. П., Гульнов Ю. А., Куликов Д. Д. Применение ЭВМ в технологической подготовке серийного производства. М.: Машиностроение, 1981. 287 с.
6. Митрофанов С. П., Гульнов Ю. А., Куликов Д. Д. Автоматизация технологической подготовки серийного производства. М.: Машиностроение, 1974. 360 с.
7. Бунаков П. Ю. Сквозное проектирование в T-FLEX. М.: ДМК Пресс, 2009. 400 с.
8. SDI Solution: новое поколение технологических САПР // Isicad [Электронный ресурс]: <[http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=14306](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=14306)>.
9. Гузеев В. И., Батуев В. А., Сурков В. И. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением. М.: Машиностроение, 2007. 366 с.
10. Куликов Д. Д., Бабанин В. С. Создание параметрической модели детали в среде CAD-системы // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2011. Т. 74, вып. 4. С. 167—168.
11. Белова А. И. Использование словарной системы для организации единого информационного пространства // Сб. тез. докл. конгр. молодых ученых. СПб: СПбГУ ИТМО, 2015.

**Сведения об авторах**

- Дмитрий Дмитриевич Куликов** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра технологии приборостроения; E-mail: [ddkulikov@mail.ru](mailto:ddkulikov@mail.ru)
- Серж Олегович Носов** — аспирант; Университет ИТМО; кафедра технологии приборостроения; E-mail: [nosovserzh@gmail.com](mailto:nosovserzh@gmail.com)

Рекомендована кафедрой  
технологии приборостроения

Поступила в редакцию  
19.04.16 г.

**Ссылка для цитирования:** Куликов Д. Д., Носов С. О. Применение табличного процессора для решения технологических задач // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 10. С. 874—879.

**THE USE OF SPREADSHEET PROCESSOR FOR SOLUTION OF TECHNOLOGICAL PROBLEMS****D. D. Kulikov, S. O. Nosov**

*ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia  
E-mail: [nosovserzh@gmail.com](mailto:nosovserzh@gmail.com)*

A decision-making system based on referent tables of technological purpose is considered. The system is a component of distributed web-oriented technological integrated environment. Methods to improve the efficiency of decision-making with the use of cloud computing, semantic CAD integration, and a unified information space on the base of the ontological approach are proposed.

**Keywords:** automatization of technological process design, decision making tables, parametric model of element, semantics

**Data on authors**

- Dmitry D. Kulikov** — Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Instrumentation Technologies; E-mail: [ddkulikov@mail.ru](mailto:ddkulikov@mail.ru)
- Serzh O. Nosov** — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technologies; E-mail: [nosovserzh@gmail.com](mailto:nosovserzh@gmail.com)

**For citation:** Kulikov D. D., Nosov S. O. The use of spreadsheet processor for solution of technological problems // Izv. vuzov. Priborostroenie. 2016. Vol. 59, N 10. P. 874—879 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-10-874-879