

Создание базы знаний машиностроительного предприятия:  
интеллектуальный анализ  
конструкторско-технологических данных

М. В. Лапа

*Севастопольский национ. университет ядерной энергии и промышленности, Украина*

In article the enterprise knowledge base creation with use of directories, standards of the enterprise, State standards as source of a subject domain knowledge, the technological data intellectual analysis subsystem for expert rules of a choice of details surfaces processing methods formation, the account of the enterprise industrial conditions (the traditional methods of processing used at the enterprise, the statistical data of a quality department), nomenclatures of details is considered.

### 1. Введение

На рынке Украины широко предлагаются импортные решения для конструкторско-технологической подготовки производства: Pro/Engineer, CADS, Euclid, Solid Works, Mechanical Desktop, КОМПАС, T-Flex и др. Отечественные разработки отсутствуют. Импортные решения не соответствуют Украинским стандартам. Украинские представители соответствующих компаний не имеют доступа к полной технической документации, и вследствие этого, не обеспечивают соответствующий уровень сервиса и обучение представителей предприятий, закупающих программы. Предприятия, которые изготавливают сертифицированную продукцию энергетического машиностроения для АЭС Украины и осуществляют агрегатно-восстановительный ремонт оборудования являются мелкосерийными. Существующие системы нацелены на общие универсальные решения, не учитывающие специфику такого предприятия, т.к. разрабатывались как типовые решения, которые возможно внедрять на любом предприятии. Они требуют существенной доработки при использовании их для мелкосерийных предприятий атомного энергетического машиностроения Украины. В результате этого значительные средства, которые тратятся на закупку и сопровождение импортных систем, теряются для предприятий. Потому работа по созданию инструментария для создания базы знаний предприятия и интеллектуальной системы, использующей в своем составе базу знаний, учитывающей технологические условия данного машиностроительного предприятия, а именно номенклатуру деталей, классификатор поверхностей, парк оборудования, традиционные методы обработки, применяемые на предприятии, является своевременной и актуальной.

Профессор Цветков В.Д. одним из первых выполнил системные исследования процессов автоматизированного технологического проектирования [1]. Последующие исследования были выполнены такими учеными как Капустин Н.М., проф. Митрофанов С.П., Куликов Д.Д., Павлов В.В. Соломенцев Ю.М. Гавриш А.П. и многие другие. В работах

Глоба Л.С. рассматривались способы представления конструкторско-технологических знаний с использованием четких экспертных правил. В [2] рассмотрен метод гибкого проектирования технологических процессов (ТП), позволяющий производить многовариантное проектирование ТП. Для учета многовариантности технологических решений при проектировании технологических процессов изготовления деталей предложено использовать математический аппарат нечетких множеств. Для представления конструкторско-технологических знаний использованы нечеткие экспертные правила. Однако в связи с отсутствием специалистов по знаниям создание базы конструкторско-технологических знаний и ее заполнение представляет трудности для предприятия. Формулировка правил базы знаний в режиме интервьюирования экспертов-технологов также малоэффективна.

## **2. Цель статьи**

В статье рассматривается метод создания базы конструкторско-технологических знаний с использованием подсистемы интеллектуального анализа конструкторско-технологических данных, различных справочников, стандартов предприятия, ГОСТУ как источника знаний о предметной области, позволяющий ускорить процесс заполнения базы знаний, сократить затраты на ее создание и доведение до коммерческого использования. Экспертные правила выбора методов обработки поверхностей деталей предлагается формировать с учетом многовариантности технологических решений и производственных условий предприятия (традиционных методов обработки, применяемых на предприятии, статистических данных отдела качества), номенклатуры деталей.

## **3. Системы интеллектуального анализа данных**

Одной из проблем является сложность использования баз конструкторско-технологических данных, хранилищ данных, накопленных на предприятии в результате использования различных диалоговых подсистем проектирования ТП при создании базы знаний. Формулировка правил базы знаний в режиме интервьюирования экспертов-технологов также малоэффективна.

Решение этой проблемы возможно следующим образом: 1 этап-использование систем интеллектуального анализа данных, а также различных справочников, стандартов предприятия, ГОСТУ как источника знаний о предметной области, использования архива техпроцессов для извлечения знаний с использованием подсистем интеллектуального анализа данных; 2-привязка базы знаний к технологическим условиям предприятия путем привлечения экспертов-технологов к ранжированию альтернативных методов обработки, фильтрации правил базы знаний. На данном этапе учитываются технологические условия конкретного машиностроительного предприятия, а именно номенклатура деталей, классификатор поверхностей, парк оборудования, традиционные методы обработки, применяемые на предприятии, статистические данные.

Главными задачами систем интеллектуального анализа данных, извлечения конструкторско-технологических знаний является поиск функциональных и логических закономерностей в накопленной информации, построение моделей и

правил, которые объясняют найденные аномалии и (или) прогнозируют развитие некоторых процессов с определенной вероятностью. В системах подобного класса используются модели и методы аналитических исследований для получения ответов на стратегически важные вопросы для осуществления процесса технологической подготовки производства. Методология работы с системами «Data mining» состоит из следующих этапов [3,4,5].

1. Исследования, когда определяется состав данных для анализа. На данном этапе используется представление данных в виде интерактивных диаграмм, трехмерных графиков, традиционные методы факторного, кластерного анализа, статистические методы [6,7].
2. Преобразование структур данных, полученных на первом этапе. Алгоритм преобразования данных представлен на рис.1 [4,5,6,7].
3. Моделирование - собственно процесс поиска знаний; при этом используются данные, подготовленные на предыдущих этапах и такой инструментарий, как нейронные сети, дерево решений, статистические методы (дискриминантный анализ, логистическая регрессия, кластерный анализ), методы с использованием нечеткой логики [8,9].
4. Оценка результатов является этапом проверки адекватности моделирования, в случае необходимости процесс повторяется до получения необходимого результата.

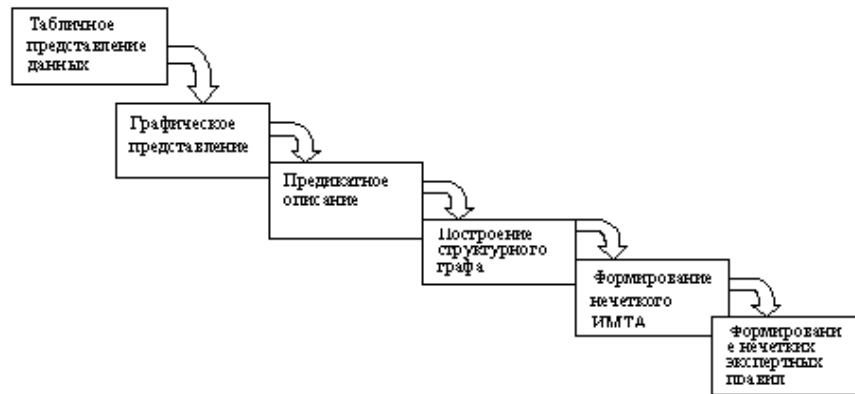
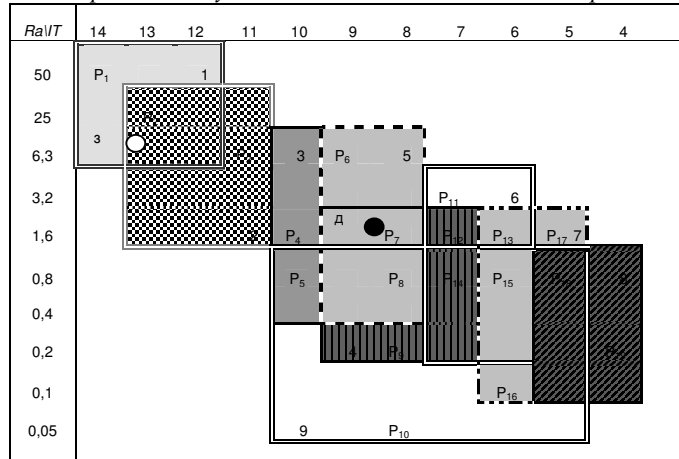


Рис.1. Алгоритм преобразования статистических, справочных данных для построения правил выбора методов обработки поверхностей деталей

В [6] описан алгоритм генерации экспертных правил Reference-Knowledge\_module\_discovery, разработанный автором, позволяющий автоматизировать процесс заполнения базы технологических знаний предприятия для выбора методов обработки поверхностей деталей с учетом качества и шероховатости. На основе предложенного алгоритма создан программный модуль Production\_Fuzzy\_rules, генерирующий экспертные правила выбора методов обработки поверхностей деталей с учетом многовариантности технологических решений. При создании программы автоматизированного заполнения базы знаний для выбора методов обработки поверхностей деталей использована информация из технологических справочников, ГОСТУ о точности и качестве поверхностей заготовок,

получаемых различными способами (горячая штамповка, холодная штамповка, литье) [12-22], и о применяемых методах обработки для достижения определенных значений качества (IT) и шероховатости ( $R_a$ ) различных типов поверхностей [7,9,10]. Графическое представление данных о методах обработки для наружных цилиндрических поверхностей с учетом точности и качества поверхности приведено ниже (табл.1).

Табл. 1. Графическое представление данных о методах обработки для наружных цилиндрических поверхностей с учетом точности и качества поверхности.



Способ графического представления данных о качестве и шероховатости, получаемых при обработке поверхностей деталей приборов различными методами подробно изложен в [6]. Аналогично данные из ГОСТов о качестве и шероховатости различных заготовок (табл.2) представим в виде областей, (табл.3).

Табл. 2. Точность и качество поверхности заготовок (горячая штамповка)

	Цвет	Граница	Способ изготовления заготовки	IT <sub>1</sub>	IT <sub>2</sub>	R <sub>a1</sub>	R <sub>a2</sub>
1	■		Горячая штамповка на молотах (сталь и цветные металлы)	17	15	80	10
2	■	≡	Горячая штамповка на механических прессах (сталь и цветные металлы)	17	13	40	5
3	■	≡	Горячая штамповка на ГКМ (сталь и цветные металлы)	17	13	40	5
4	■	••••	Горячая штамповка и калибровка (сталь и цветные металлы)	15	11	8	2,5
5	■	≡	Штамповка выдавливанием на гидравлических прессах (металлопластичные стали, цветные металлы)	17	13	40	5

Табл. 3. Графическое представление данных о точности и шероховатости поверхности заготовок (горячая штамповка)

$R_a \setminus IT$	17	16	15	14	13	12	11
80	1						
40	2		3	5			
10	2		3	5			
8	2		3	5		4	
5	2		3	5		4	
2,5	2		3	5		4	

Согласно алгоритму преобразования справочных данных о методах обработки поверхностей и качестве и шероховатости заготовок (рис.1) каждую область (табл. 3) опишем с помощью предиката, который принимает значение «истина», если точка принадлежит данной области, и принимает значение «ложь» в противном случае [5]. Ниже представлено предикатное описание данных о точности (IT) и шероховатости поверхности ( $R_a$ ) заготовок (горячая штамповка):

$$QR_1 = (10 \leq R_a \leq 80) \wedge (15 \leq IT \leq 17);$$

$$QR_2 = (5 \leq R_a \leq 40) \wedge (13 \leq IT \leq 17);$$

$$QR_3 = (5 \leq R_a \leq 40) \wedge (13 \leq IT \leq 17);$$

$$QR_4 = (2,5 \leq R_a \leq 8) \wedge (11 \leq IT \leq 15);$$

$$QR_5 = (5 \leq R_a \leq 40) \wedge (13 \leq IT \leq 17).$$

В таблицах 4, 5 представлена информация о точности и качестве поверхности заготовок, получаемых литьем (информация из стандартов) [12-22].

Таблица 4. Точность и качество поверхности заготовок (литье)

	Цвет	Граница	Способ литья	$IT_1$	$IT_2$	$R_{a1}$	$R_{a2}$
1		--	В песчаные формы (чугун, сталь, цветной металл)	17	14	80	20
2		===	В оболочковые формы	15	12	40	5
3		-·-	По выплавляемым моделям	14	11	10	2,5
4		===	Кокильное литье	15	12	20	5
5		///	Под давлением	13	9	10	2,5
6		===	Центробежное	15	13	20	5

Табл. 5. Графическое представление данных о точности и качестве поверхности заготовок (литье)

Ra/IT	17	16	15	14	13	12	11	10	9
80				1					
40			2	2					
20			3	3	4				
10			4	4	5		3		5
5			5	5	6				
2,5			6	6	7				

Предикатное описание данных о точности и шероховатости поверхности заготовок (литье):

$$QR_1 = (20 \leq Ra \leq 80) \wedge (14 \leq IT \leq 17);$$

$$QR_2 = (5 \leq Ra \leq 40) \wedge (12 \leq IT \leq 15);$$

$$QR_3 = (2,5 \leq Ra \leq 10) \wedge (11 \leq IT \leq 14);$$

$$QR_4 = (5 \leq Ra \leq 20) \wedge (12 \leq IT \leq 15);$$

$$QR_5 = (2,5 \leq Ra \leq 10) \wedge (9 \leq IT \leq 13);$$

$$QR_6 = (5 \leq Ra \leq 20) \wedge (13 \leq IT \leq 15).$$

В таком представлении данные о заготовках использовались в программе для генерации экспертных правил выбора методов обработки поверхностей деталей (рис.2). Первоначально данные о качестве и шероховатости заготовки вводились технологом в диалоговом режиме. В результате использования информации из ГОСТов и справочников о качестве и шероховатости заготовок и предложенного алгоритма преобразования данных (рис.1) программный модуль был доработан таким образом, что пользователю достаточно выбрать тип используемой заготовки (рис.2).

Выбор типа заготовки				
Точность и качество поверхности заготовок	IT1	IT2	Ra1	Ra2
Горячая штамповка на механическом прессе (сталь и цветные металлы)	17	13	40	5
Горячая штамповка на ГМ (сталь и цветные металлы)	17	13	40	5
Горячая штамповка и калибровка (сталь и цветные металлы)	15	11	8	2,5
Штамповка выдавливанием на гидравлическом прессе (легированные стали, цветные металлы)	17	13	40	5
Литье в песчаные формы (чугун, сталь, цветной металл)	17	14	80	20
Литье в оболочковые формы	15	12	40	5
Литье по выплавляемым моделям	14	11	10	2,5
Кокшильное литье	15	12	20	5
Литье под давлением	13	9	10	2,5
Литье центробежное	15	13	20	5
Холодная высадка консолидированного материала	11	8	3,2	0,32
Холодная объемная штамповка	14	8	10	0,63
Холодное прессование и последующее спекание (некалиброванные детали)	14	8	2,5	0,63
Холодное прессование и последующее спекание (калиброванные детали)	7	6	0,32	0,08
Холодное прессование брикетов (для высотных размеров)	14	12	5	0,16
Холодное прессование брикетов (для диаметральны)	9	6	5	0,16
Холодное прессование брикетов при уплотнении с ограничителем (для высотных размеров)	12	12	5	0,16
Холодное прессование брикетов при уплотнении с ограничителем (для диаметральны)	11	8	5	0,16

Рис. 2. Выбор типа заготовки

При этом предпосылки правил «ЕСЛИ» генерируются программой автоматизировано для всех возможных комбинаций значений качества и шероховатости заготовки и детали с использованием рекурсивного алгоритма разбиения областей (табл.1,3,5) на подобласти (например, P<sub>1</sub>-P<sub>19</sub>, табл.1) [7].

Тип заготовки, возможные наборы значений качества и шероховатости заготовки указываются в конструкции сгенерированного правила (рис.3).

Для учета многовариантности решений при проектировании технологического процесса используется модель правила с использованием теории нечетких множеств:

**ЕСЛИ** *поверхность* := <тип поверхности>;  
**И** код поверхности := <согласно классификатора>;  
**И** заготовка := <тип заготовки>;  
**И** значения шероховатости и качества (R<sub>a</sub>, IT) заготовки := {Z};  
**И** значения шероховатости и качества (R<sub>a</sub>, IT) детали := {D};  
**ТО** возможные наборы методов обработки: { МЕТН },  
 где {Z} – четкое множество пар значений (R<sub>a</sub>, IT) заготовки,  
 {D} – четкое множество пар значений (R<sub>a</sub>, IT) детали, для которых формируется правило,  
 МЕТН={ (набор методов 1,μ<sub>1</sub>), (набор методов 2,μ<sub>2</sub>)...(набор методов n,μ<sub>n</sub>) } – нечеткое множество возможных наборов методов обработки;  
 μ<sub>i</sub> ∈ [0,1] задается экспертом-технологом в диалоговом режиме (рис.3).

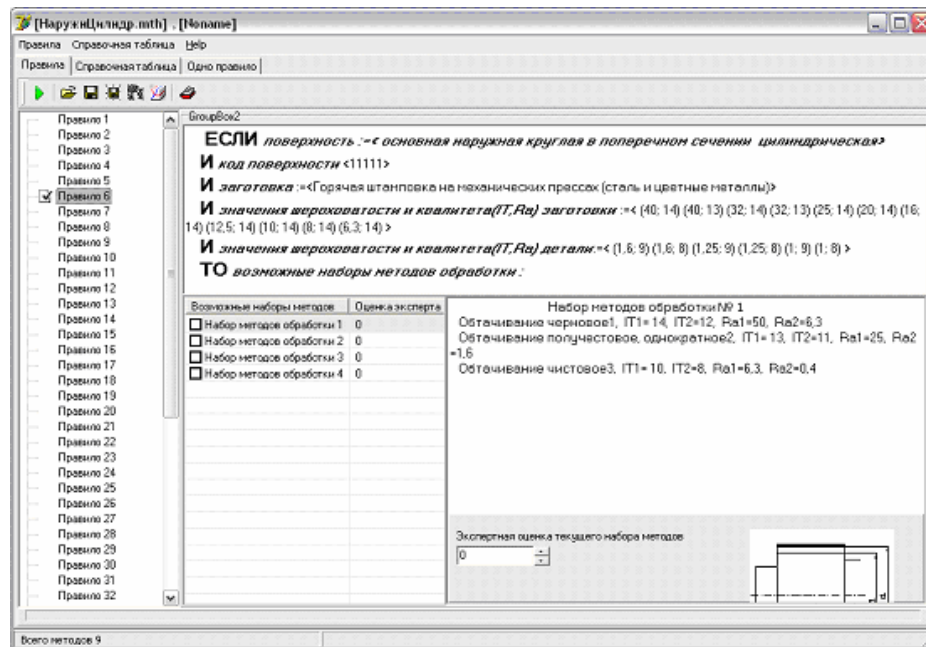


Рис.3 Результаты генерации правил выбора методов обработки наружных цилиндрических поверхностей

#### 4. Практическая апробация подсистемы

Разработанный программный модуль `Production_Fuzzy_rules` был использован для генерации нечетких экспертных правил выбора методов обработки наружных цилиндрических поверхностей, плоских поверхностей корпусных деталей для различных типов заготовок (рис.3,4). Сгенерированные правила выбора методов обработки указанных типов поверхностей для различных заготовок сохраняются в файлах правил `***.rul` (рис.4).

Данный подход позволяет ускорить разработку новых технологических процессов при внедрении на предприятии новых передовых технологий, оборудования, новых видов продукции. При использовании новых технологий обработки необходимо добавить новый метод обработки в файлы методов обработки соответствующих типов поверхностей (файлы `***.mth`) с помощью программного модуля `Production_Fuzzy_rules`, сгенерировать новые правила и сохранить их в базу технологических знаний. При освоении новых видов продукции и необходимости обрабатывать новый тип поверхности достаточно добавить новый тип поверхности в классификатор (рис.7), создать новый файл методов обработки таких поверхностей с помощью программного модуля `Production_Fuzzy_rules`, сгенерировать новые правила и сохранить их в базу технологических знаний.

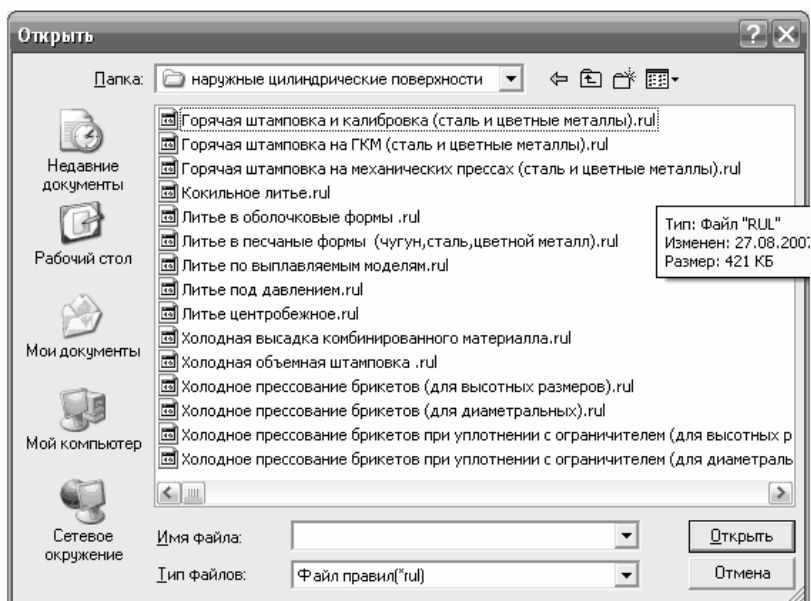


Рис.4. Файлы правил для различных типов заготовок

В процессе апробации и внедрения базы знаний на конкретном предприятии используется классификатор деталей, классификатор поверхностей и статистические данные предприятия. Программа позволяет использовать чертежи деталей в формате `*.gif` в диалоговом режиме при ранжировании альтернативных схем обработки в правиле (рис.5), а также работает совместно с системой конструкторской подготовки производства AutoCAD.



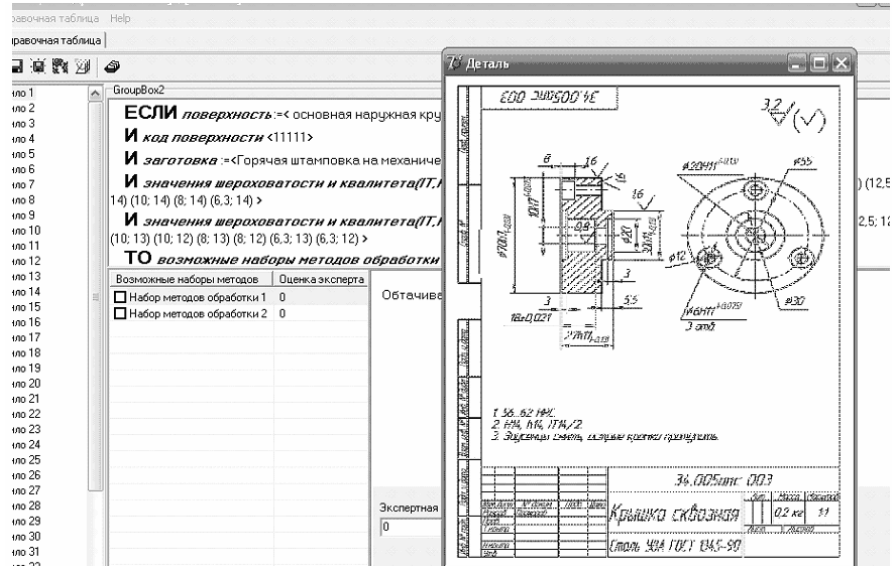


Рис.5. Просмотр чертежа детали в формате \*.gif при задании экспертных оценок

При гибком многовариантном проектировании технологических процессов деталь представляется в виде набора поверхностей, проектирование производится с использованием детали-аналога [2]. Модель детали представлена на рис. 6.

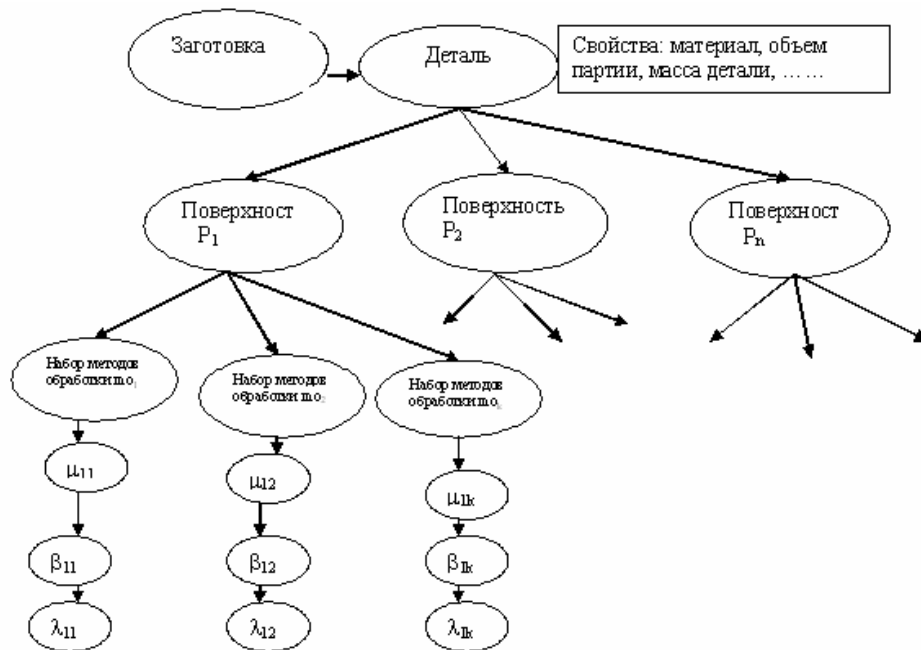


Рис. 6. Модель детали

Выбор поверхности детали  $P_1 - P_n$  в программе осуществляется с использованием классификатора поверхностей [1], который в процессе доведения до коммерческого использования и эксплуатации базы знаний может быть уточнен (рис.7).

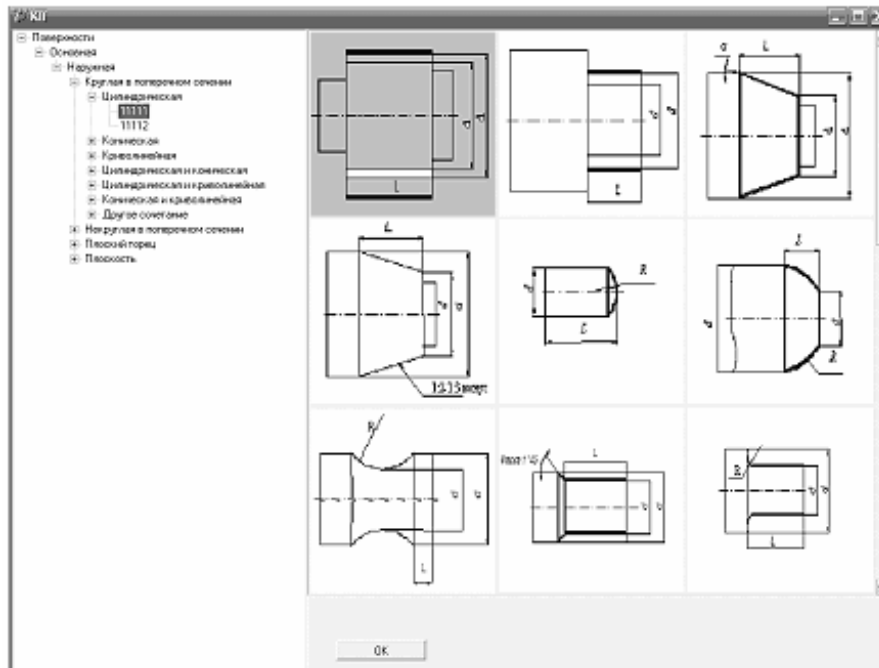


Рис. 7. Классификатор поверхностей

### Выводы:

Предложенный подход к созданию базы знаний предприятия с использованием справочников, стандартов предприятия, ГОСТов как источника знаний о предметной области, подсистемы интеллектуального анализа конструкторско-технологических данных для формирования правил выбора методов обработки поверхностей деталей, учета производственных условий предприятия позволяет ускорить процесс создания базы знаний, минимизировать затраты времени экспертами-технологами предприятия на этапе доведения базы знаний до коммерческого использования, сократить затраты на ее создание.

Разработанный автором алгоритм преобразования статистических, справочных данных для построения правил выбора методов обработки поверхностей деталей позволяет автоматизировать процесс создания правил базы знаний путем использования подсистемы интеллектуального анализа конструкторско-технологических данных «Production\_Fuzzy\_rules» с учетом многовариантности технологических решений.

Прикладное значение данной работы заключается в том, что предложенный подход к созданию базы знаний позволяет учитывать технологические условия конкретного машиностроительного предприятия, а именно номенклатуру деталей, классификатор поверхностей, традиционные методы обработки, применяемые на предприятии, статистические данные. Опыт работы с разработанной подсистемой показал, что система является легкой в использовании не только для IT-специалистов, но и технологов, легко интегрируется с системами конструкторско-технологической подготовки производства, может расширяться путем добавления новых компонентов для генерации экспертных правил для любых подзадач проектирования ТП (выбор оборудования, заготовки, инструмента).

Дальнейшие исследования целесообразно провести по созданию программного инструментария для заполнения экспертных правил выбора оборудования с учетом многовариантности решений и привязки их к условиям конкретного предприятия в процессе доведения базы знаний до коммерческого использования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цветков В.Д. Система автоматизации проектирования технологических процессов.- М.: Машиностроение, 1972.- 240 с.
2. Глоба Л.С., Лапа М.В., Попова І. Гнучке проектування технологічних процесів виготовлення деталей приладів// Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2005. – № 6. –С.93-100.
3. Павленко Л.А. Корпоративні інформаційні системи: Навчальний посібник.- Х.:ВД"ІНЖЕК", 2003.-260с.
4. Лапа М.В. Разработка алгоритмов автоматизированного извлечения знаний для интеллектуальных систем гибкого проектирования технологических процессов// Тези доповідей наук.- техн. конф. „Приладобудування : стан і перспективи”.- Київ: НТУУ”КПІ” .-2007.-С.133-134.
5. Лапа М.В. Интеллектуальные технологии обработки и эффективного использования технико-экономической информации предприятия для создания нечеткой базы конструкторско- технологических знаний //Тезисы докладов науч.- техн. конф. „Автоматика-2007».-Севастополь:СНУ ЯЕтаП.- 2007.-С.76-78.
6. Лапа М.В. Алгоритм формирования нечетких экспертных правил для выбора методов обработки поверхностей деталей// Вестник Харк. нац. ун-та. Сер. "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления". №733 – 2006.-С.166-173.
7. Лапа М.В. Автоматизированное извлечение конструкторско-технологических знаний// Открытые информационные и компьютерные технологии: Сб. науч. тр. Вып. №33. - Харьков: Нац. аэрокосмич. ун-т.- 2006.-С.121-126.
8. В. Padmanabhan and A. Tuzhilin. On Characterization and Discovery of Minimal Unexpected Patterns in Rule Discovery//IEEE Transactions on knowledge and data engineering, № 2, February 2006.-Pp. 202-216.

9. M.J. Druzdzal and L.C. van der Gaag. Building Probabilistic Networks: Where Do the Numbers Come From? //IEEE Trans. Knowledge and Data Eng., № 4, July/Aug. 2000.-Рр. 481-486.
10. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні.- К.:Вища школа,1993.-413
11. Косилова А. Г., Мещеряков Р.К. Справочник технолога машиностроителя (в двух томах), т. 1.М.: Машиностроение,1985.-655 с.
12. ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.
13. ГОСТ 25142-85 Шероховатость поверхности. Термины и определения.
14. ГОСТ 7023-89 Машины горизонтально-ковочные с вертикальным разъемом матриц. Параметры и размеры. Нормы точности.
15. ГОСТ 7505-89 Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски.
16. ГОСТ 7284-88 Прессы гидравлические ковочные. Параметры и размеры. Нормы точности.
17. ГОСТ 977-88 Отливки стальные. Общие технические условия.
18. ГОСТ 26645-85 Отливки из цветных металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку.
19. ГОСТ 21357-87 Отливки из хладостойкой и износостойкой стали ТУ.
20. ГОСТ 1215-79 Отливки из ковкого чугуна. Общие технические условия.
21. ГОСТ 613-79 Бронзы оловянные литейные.
22. ГОСТ 2171-90 Детали, изделия и заготовки из цветных металлов и сплавов.