

УДК 004.8:004.85

Л.С. МОЛОДЫХ

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ОБОСНОВАНИЕ И МНОЖЕСТВЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОПЕРАТОРНОЙ МОДЕЛИ И МЕТОДА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В МЕХАНООБРАБОТКЕ**

В статье рассмотрена проблема знаниеориентированной поддержки принятия решений в технологической подготовке производства. Предложена операторная модель для поддержки принятия решений технологом при разработке технологического процесса в механообработке, который характеризуется множеством разнотипных данных и сложных логических связей между ними. Знания технолога представлены точными квантами знаний (tk-знания). Рассмотрена множественная интерпретация операторной модели, которая предполагает две фазы: отображение множества обучающих знаний на множество имплицативных закономерностей, описывающих базу точных квантов знаний (Btk3); отображение Btk3 на множество решений по наблюдаемому объекту принятия решений. Отображения осуществляются на основе разработанных операторов индукции и дедукции.

Ключевые слова: операторная модель, принятие технологических решений, точные кванты знаний, имплицативные закономерности.

**1. Состояние проблемы
знаниеориентированной поддержки
принятия решений в технологической
подготовке производства**

Процесс технологической подготовки производства (ТПП) характеризуется большим объемом информации и решаемых задач. В частности разработка технологического процесса (ТП) является одним из важнейших заданий технологов на машиностроительных производствах. Сокращение сроков на разработку ТП может дать положительный экономический эффект, но также ошибка в технологии изготовления может привести к нерациональным, дорогостоящим операциям, что в целом негативно может сказаться на прибыли предприятия [2]. Поэтому актуальна автоматизация не только механического труда технолога, но и творческой составляющей. Большинство существующих САПР ТП ориентированы на визуализацию процесса проектирования ТП, тем самым не оказывая помощи в интеллектуальном труде технолога.

В процессе принятия решений технолог опирается на свои знания и опыт, делая логические выводы. При этом процесс принятия решения ориентирован на исследуемый объект. Объектом принятия решений (ОПР) может быть конкретная деталь, относительно которой необходимо принять ряд решений о ходе её получения, т.е. о разработке технологического процесса (ТП) на её изготовление. Этой проблемой активно занимаются многие ученые [3 – 5], но

проблема еще не решена, поэтому актуальна разработка знаниеориентированных моделей и методов представления и манипулирования знаниями технологов, чему и посвящена настоящая статья.

**2. Постановка задачи синтеза
операторной модели принятия
технологических решений
в механообработке**

Ставится задача синтезировать операторную модель принятия технологических решений в механообработке, базируясь на квантовый подход к представлению и манипулированию знаниями, предложенный проф. И.Б. Сироджей [1], согласно которому знания представляются в виде многоуровневых алгоритмических квантов в терминах теории алгоритмов, а манипулирование знаниями подразумевает реализацию формальных операций, процедур логического рассуждения и вывода с целью формирования принимаемых решений.

Операторная модель должна обеспечить знаниеориентированную поддержку технологу в принятии решений при разработке ТП в механообработке за счет операторного построения запретной базы квантов знаний (Btk3) технолога и вывода идентификационных и прогнозных решений.

Операторная модель принятия решений базируется на операторных преобразованиях квантов знаний технолога, представленных векторно-матричными структурами. Для этого необходимо раз-

работать операторы преобразований, в основе которых лежит специальная алгебра над векторно-матричными квантами для вывода решений и реализует элементарные операции над столбцами и строками матриц.

Знания технолога представляются в виде точных квантов знаний (**tk-знаниями**), поскольку условия принятия решений технологом в механообработке обусловлены ограничениями *t*-неопределенности:

1. данные об объекте принятия решений (ОПР) разнотипны (т.е., измерены как в количественных, так и в качественных шкалах) и достижимы в *неполных объемах* из различных источников (эксперты, техническая документация, справочники, измерения приборов и т.д.);

2. целевые критерии *качества идентификации и прогнозирования* заданы неявно, неизвестно какие, в каком количестве и как выбрать информативные признаки **ОПР** относительно целей принятия решений;

3. *неизвестны* правила принятия **классификационных** и **прогнозных** решений, а также индуктивные принципы их построения путём обучения на выборочных экспериментальных данных;

4. искомые **правила принятия решений** *невозможно определить* непосредственно регулярными численными методами, но возможен путь создания средств **инженерии знаний** для моделирования интеллектуальных умений человека находить решения, на базе собственных знаний, интуиции и опыта.

t-неопределённостью являются условия задачи принятия решений, которым отвечают ограничения (1)-(4), допускающие возможность построения идентификационного или прогнозного правила принятия решения (**ППР**) с определением приемлемой оценки его надёжности, предполагая, что данные достоверны. Этот тип неопределенности выбран для описания знаний о процессе разработке ТП в механообработке, поскольку данная область характеризуется выверенными на производстве данными, на основе которых принимаемые решения также являются достоверными.

3. Операторная модель индуктивного построения базы tk-знаний и дедуктивного вывода решений

Для того чтобы проимитировать рассуждения и действия технолога при разработке технологического процесса, необходимо представить множество **T** **всевозможных объектов** (способов изготовления деталей) изучаемого класса Ω деталей. Из этого множества **T** можно выделить подмножество **T_r** **допустимых объектов**, которые существуют реально.

Т.е. известно, что на такие детали были когда-то изготовлены технологические процессы или их изготовление в принципе возможно ввиду технологичности детали. Далее предполагаем, что на конкретном предприятии были проведены эксперименты и накоплены некоторые знания об изготовлении некоторого множества T_0 конкретных деталей. Это экспериментальное **множество T_0 является обучающим**, по которому необходимо отследить и выявить логические связи между конструкцией детали и способами её изготовления.

Так как объект характеризуется набором признаков, то предполагается, что некоторые признаки **имплицитивно связаны** между собой. Эта связь между признаками эквивалентна утверждению о том, что не существует объектов с некоторыми комбинациями свойств, т.е. существует хотя бы одна запретная (недопустимая) комбинация их значений. Устойчивой связи отвечает некоторая область запрета в пространстве признаков B^n достаточно широкая, чтобы она могла как-то проявиться в небольшом множестве T_0 . Это означает, что оказывается возможным по небольшому набору знаний, содержащихся в множестве T_0 , выявить **имплицитивные закономерности** исследуемых объектов.

Обычно связаны между собой *г* признаков ($g \leq n$, где *n* – общее количество признаков ОПР) и эта связь представляется запретом некоторой комбинации их значений. Отображается она уже не булевым вектором, а троичным, компоненты которого принимают значения из множества **{0,1,-}**.

Значения «0» и «1» будут принимать *г*-компонент, которые соответствуют связанным признакам, а остальные *n-g* компонент принимают значение «-». Значение «-» подразумевает, что не известно какое значение («0» или «1») принимает компонент. Такая связь и называется **имплицитивной закономерностью ранга г**.

Если некоторые признаки имплицитивно связаны друг с другом, то существует хотя бы одна запретная комбинация их значений. Это означает, что в пространстве признаков в интервал, отвечающий этой запретной комбинации, не попадает ни один из элементов множества T_0 , т.к. $T_0 \subset T_r$, то и для объектов из T_r этот интервал оказывается пустым.

Таким образом, если существует имплицитивная закономерность, представленная запретным квантом $tk_1 \bar{y}_j$ ранга *г*, то существует и запретный интервал $\bar{Y} \subset T_r$ ранга *г* и справедливы соотношения: $tk_1 \bar{y}_j \cap T_r = \emptyset$, $tk_1 \bar{y}_j \cap T_0 = \emptyset$, $T_0 \subseteq T_r$.

Достоверность существования имплицитивной связи между признаками оценивается с помощью формулы

$$M_S\{m, N, r\} = \frac{N! \cdot 2^{r(1-m)} \cdot (2^r - 1)^m}{r! \cdot (N-r)!} \leq M_S^* \quad (1)$$

где $r_{\min} \leq r \leq r_{\max}$; $2 \leq r_{\min} < r_{\max}$; $r_{\max} \leq N$; $M_S\{m, N, r\}$ – величина **математического ожидания числа запретных интервалов** r -го ранга, обнаруженных в $T_0(m, N)$ случайно при отсутствии имплекативных связей между признаками ОПР, которая ограничивает сверху величину вероятности $p_S(m, N, r)$ в области **малых** её значений из интервала $[0, 1]$ [1].

Формула гарантирует нахождение имплекативных закономерностей по обучающему множеству между r признаками с заданной достоверностью при заданном **допустимом граничном значении оценки** M_S^* .

Процесс операторного принятия решений, т.е. отображение $OM: T_0 \rightarrow R_\omega$ множества T_0 на множество решений R_ω можно разделить на 2 фазы:

1. **фаза «поиск имплекативных закономерностей»** – отображение $zIND: T_0 \rightarrow \bar{J}$ обучающего множества T_0 на множество запретов \bar{J} .

2. **фаза «принятие решения»** – отображение $zDED: \bar{J} \rightarrow R_\omega$ множества запретов \bar{J} на множество решений R_ω . Осуществляется в несколько этапов:

2.1. отображение $zRED: \bar{J} \xrightarrow{\omega} \bar{J}'$ множества

запретов \bar{J} на подмножество \bar{J}' , которое пересекается с наблюдаемым объектом ω . Отображение осуществляется редуцированием относительно наблюдаемого объекта.

2.2. отображение $zPOZ: \bar{J}' \rightarrow R_\omega$ редуцированного подмножества \bar{J}' на множество решений R_ω минимизацией и инверсией. Инверсия от запрета дает искомое множество решений.

В фазе «поиска имплекативных закономерностей» объединение всех запретных интервалов $\bar{Y} \subset T_r$, описывающих найденные имплекативные закономерности по обучающей выборке T_0 , образуют запретное множество \bar{J} .

На рис. 1 представлена множественная интерпретация операторной модели вывода решений, где T – множество всех объектов изучаемого класса;

T_r – множество допустимых объектов;

T_0 – множество обучающих объектов;

\bar{J} – множество недопустимых объектов;

\bar{J}' – множество недопустимых объектов, имеющих отношение к ОПР ω ;

R_ω – множество новых объектов.

Для указанных множеств справедливы соотношения: $T_r \subset T$, $T_0 \subset T_r$, $\bar{J} \subset T$, $R_\omega \subset T_r$.

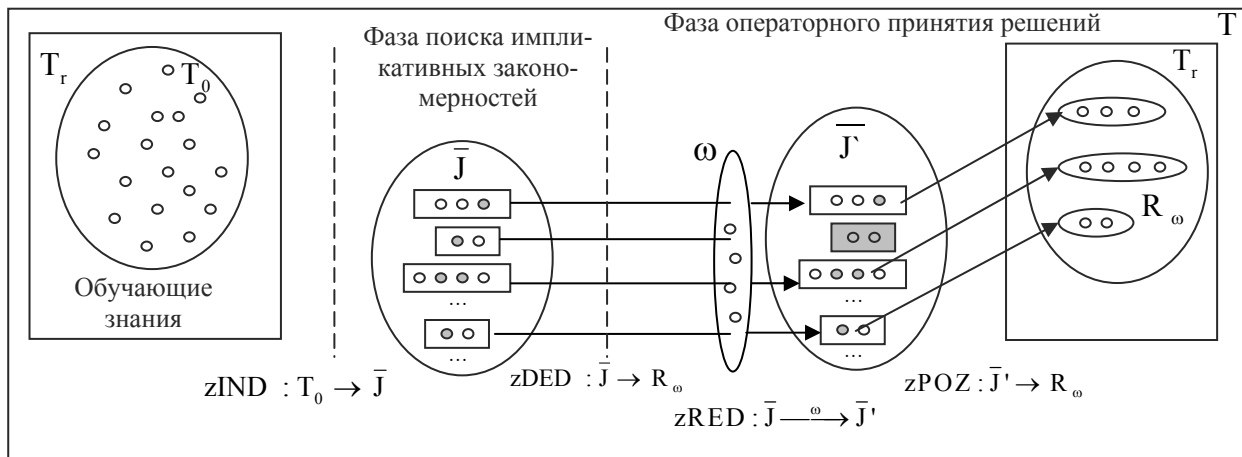


Рис. 1. Множественная интерпретация операторной модели вывода решений

Множеству T_0 соответствует обучающая выборка, описанная квантом второго уровня $tk_2\Sigma_0$, строками которого являются векторные кванты 1-го уровня tk_1y_i , $tk_1y_i \in T_0, i = \overline{(1, n)}$.

Множеству \bar{J} отвечает **БткЗ**, которая представима в **виде запретного матричного кванта** второго уровня $tk_2\overline{\Sigma_{BM}}$, строками которого являются запретные векторные кванты $tk_1\overline{y_j}$,

$tk_1\overline{y_j} \in \bar{J}, j = \overline{(1, m)}$. Множеству R_ω отвечает выводимое решение в виде **решающего кванта** $tk_S R$ s -го уровня (0-го, 1-го, 2-го), $tk_S R \in R_\omega, s = \overline{(0, 1)}$.

Математически операторная модель (ОМ) представима в виде следующей записи:

1. Оператор индуктивного вывода имплекативной БткЗ:

$$zIND(tk_2\Sigma_0; tk_2\overline{\Sigma_{BM}}) = tk_2\Sigma_0 \xrightarrow{zIND} tk_2\overline{\Sigma_{BM}} \quad (2)$$

2. Оператор дедуктивного вывода tk-знаний 0-го, 1-го, 2-го уровней:

$$\begin{aligned} & zDED(tk_2 \overline{\Sigma_{BM}}; tk_1 Y_\omega; tk_s R) = \\ & = \{tk_2 \overline{\Sigma_{BM}} \frac{zDED}{tk_1 Y_\omega} \} tk_2 R, tk_2 \overline{\Sigma_{BM}} \frac{zDED}{tk_1 Y_\omega} \} tk_1 R, \\ & tk_2 \overline{\Sigma_{BM}} \frac{zDED}{tk_1 Y_\omega} \} tk_0 \beta_{ik}^{(j)} \} \end{aligned} \quad (3)$$

2.1. Оператор редукции Бtk3 = tk₂Σ_{BM} по кванту наблюдений tk₁Y_ω за ОПР ω:

$$tk_2 \overline{\Sigma^*} = zRED(tk_2 \overline{\Sigma_{BM}} | tk_1 Y_\omega). \quad (4)$$

2.2. Оператор проверки на общезапретность системы закономерностей и вывод искомого решения:

$$zPOZ(tk_2 \overline{\Sigma^*}; tk_s R) = tk_2 \overline{\Sigma^*} \frac{zInv, zMin}{tk_s R} \} tk_s R. \quad (5)$$

Нахождение запретной Бtk3 по обучающей матрице осуществляется применением операторов, которые обеспечивают индуктивный поиск искомого Бtk3 за счет отображения исходного обучающего множества на множество запретов zIND: T₀ → J̄. Для этого предложен оператор индукции запретной Бtk3 zIND, который включает в себя векторно-матричные преобразования с применением особой алгебры запретных квантов. После того как обнаружено и сформировано множество запретов J̄, возможно осуществление второй фазы принятия решения.

В фазе «принятия решений» уточним, что пересечение наблюдения tk₁Y_ω за ОПР с Бtk3 tk₂Σ_{BM} означает выделение области имплицативных закономерностей, которые имеют отношение к наблюдаемому ОПР ω. А инверсия от выделенной области tk₂Σ* дает результат прогноза tk_sR. В этом случае возможны три исхода принятия решений:

1. **Ситуация прогноза: «не знаю»** (рис. 2)

Возможна, когда пересечения с Бtk3 нет: J̄ ∩ ω = ∅. Ситуация «не знаю» вызвана неполнотой Бtk3, обусловленной недостаточным объемом обучающей выборки объектов.

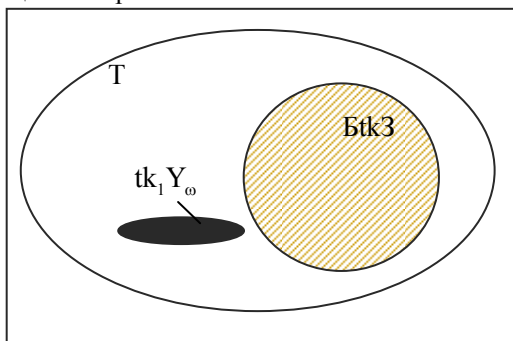


Рис. 2. Состояние множеств в пустом прогнозе

2. **Ситуация прогноза: «ошибка»** (рис. 3)

Возможна, когда квант наблюдения полностью попадает в Бtk3.

Ситуация ошибки вызвана противоречием между наблюдением с Бtk3, т.к. наблюдение за ОПР не может быть запретом.

На множествах эта ситуация интерпретируется так: ω ⊂ J̄

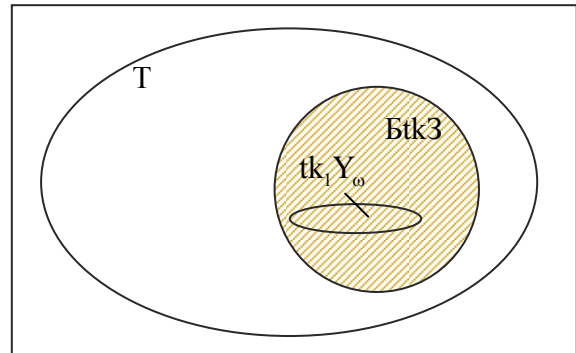


Рис. 3. Состояние множеств в ситуации ошибки

3. **Ситуация прогноза: «возможное состояние объекта»** (рис. 4)

Возможна, когда квант наблюдения частично пересекается с Бtk3, т.е. есть связь между Бtk3 и ОПР, то осуществляется прогноз. Инверсия от найденной области пересечения, т.е. запретов, дает результат прогноза о возможном состоянии ОПР.

На множествах эта ситуация интерпретируется так: J̄ ∩ ω = J'.

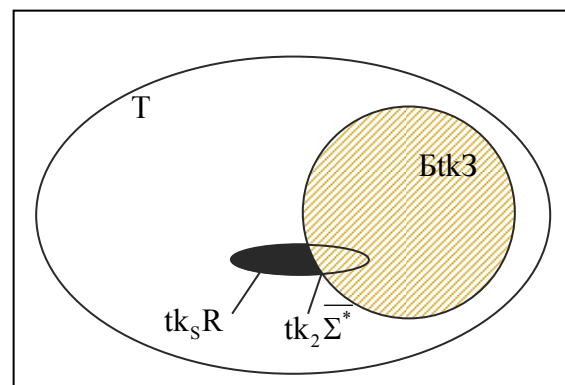


Рис. 4. Состояние множеств в результате успешного прогноза

Рассмотренные ситуации отображений множества запретов на множество решений удобно использовать для контроля над Бtk3, давая возможность корректировать её построение, за счет дообучения и исправления ошибок, что дает возможность повысить качество построения Бtk3 и, следовательно, качество принимаемых решений.

4. Постановка задачи синтеза операторного метода построения базы знаний технолога и принятия технологических решений

Для того, чтобы обеспечить операторную поддержку принятия решений технолога в механообработке при разработке технологического процесса (ТП), необходимо разработать **операторный метод**, который реализует предложенную операторную модель, и позволит осуществить построение базы точных квантов знаний (БткЗ) технолога по начальным наблюдениям, полученным из всевозможных источников (экспериментальные данные, справочная литература, техническая документация, интервью с экспертами), представленным в виде таблицы эмпирических данных (ТЭД), сформированным в обучающую выборку, а также на основе построенной БткЗ обеспечит вывод идентификационных и прогнозных решений о возможном состоянии наблюдаемого ОПР.

Таким образом, формулируются и решаются операторным методом три базовые задачи:

1. **задача формализации tk-знаний** технолога в процессе разработки ТП в механообработке;
2. **задача распознавания (идентификации)** объекта по результатам наблюдений;
3. **задача экстраполяции (прогнозирования)** результатов наблюдений.

В качестве ТЭД используются выборочные обучающие tk-знания.

Для решения поставленных задач необходимо синтезировать **операторы индукции, дедукции и традукции**, требуемые согласно условий t-неопределённости для построения **операторной модели** вывода решений на tk-знаниях.

В отличие от традиционных способов принимаемых решений, операторный метод должен обеспечить решение сформулированных выше трех задач на основе формального манипулирования tk-знаниями посредством векторно-матричных операторов преобразования и логического вывода квантов знаний различных уровней.

2-я задача состоит в синтезе операторов машинного манипулирования tk-знаниями, позволяющих, опираясь на предварительно накопленную БткЗ, определить с заданной надёжностью неизвестное значение целевой характеристики (признака) объекта по его наблюдаемым признакам.

3-я задача заключается в построении процедур машинного манипулирования tk-знаниями для **экстраполяции** результатов *частичных* наблюдений за ОПР. Т.е. необходимо вычислить по БткЗ значения *неизмеренных характеристик* ОПР на основании *измеренных значений* других *характеристик*.

5. Операторный метод инженерии квантов знаний для поддержки принятия технологических решений

Операторный метод вывода указанных решений на основе использования операторной модели предполагает следующую последовательность **операторных** преобразований *разноуровневых tk-знаний*. Сначала посредством **оператора индукции (zIND)** по обучающим tk-знаниям синтезируется база *точных* квантов знаний (БткЗ) (*прогнозная* или *идентификационная*). Затем с помощью **оператора дедукции** по наблюдаемым (*входным*) tk-знаниям, опираясь на БткЗ, выводятся **искомые идентификационные** или **прогнозные решения** в форме *результатирующих tk-знаний*.

Оператор дедукции является составным, он включает в себя **оператор редукции (zRED)** и **оператор проверки на общезапретность (zPOZ)**. Оператор редукции осуществляет выделение из БткЗ тех закономерностей, которые имеют отношение к кванту наблюдений $tk_1 Y_{\omega}$. После этого применяются еще два оператора в комплексе: **оператор минимизации (zMin)** и **оператор инверсии (Inv)**.

Последовательность операторных преобразований дедуктивного вывода решений представлена на рис. 5.

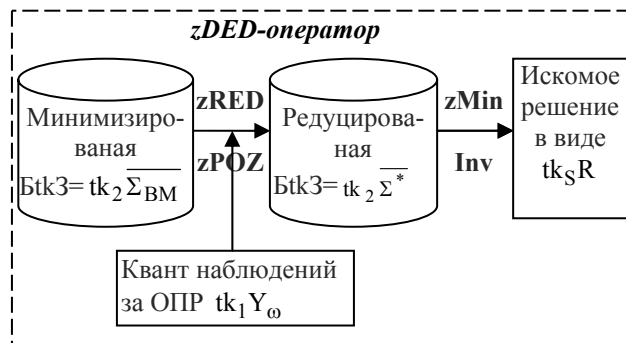


Рис. 5. Операторные преобразования дедуктивного вывода решений.

Для того чтобы было возможным осуществить весь приведенный цикл операторных преобразований с целью построения БткЗ и вывода решений необходимо создать особую алгебру над запретными квантовыми структурами с целью синтеза операторов дедукции (zDED), редукции (zRED), проверки на общезапретность (zPOZ), минимизации (zMin), инверсии (Inv).

5.1. Алгебра запретных квантов

Операторный метод предполагает векторно-матричное представление и преобразование tk-знаний. Специфика такого представления в классе

конечных предикатов состоит в выполнении теоретико-множественных операций и проверке отношений, которые логически выражаются покомпонентными операциями конъюнкции (\wedge), дизъюнкции (\vee) и отрицания (\neg).

Ставится задача определения логических операций над квантами знаний, в том числе и запретными, как основание для построения операторов манипулирования tk-знаниями.

Известно, что квант представляет собой порции информации.

Доменам кванта отвечают признаки ОПР. Компоненты доменов – значениям признаков. Домены связаны между собой логической связкой «И», а компоненты доменов «ИЛИ», то кванты представимы в виде пропозициональных формул.

Определение 1. Конъюнкцией (дизъюнкцией) запретных разноуровневых квантов $tk_2\bar{A}$ и $tk_1\bar{B}$ называется t-квант

$$tk_2\bar{C} = tk_2\bar{A} \wedge (\vee) tk_1\bar{B}, \quad (6)$$

полученный из матрицы $tk_2\bar{A}$ путем покомпонентной **конъюнкции (дизъюнкции)** каждой ее строки D_{iA} с вектором-строкой D_B :

$$\forall i \forall j \forall k \left(D_{iC}^{jk} = D_{iA}^{jk} \wedge (\vee) D_B^{jk} \right), \quad (7)$$

где элемент D_i^{jk} – компонентный квант 1-го уровня $tk_1\beta_i^{jk}$, определяющий k-е значение j-й характеристики в i-й строке-конъюнкте, по правилу:

для конъюнкции			для дизъюнкции		
D_{iA}^{jk}	D_B^{jk}	D_{iC}^{jk}	D_{iA}^{jk}	D_B^{jk}	D_{iC}^{jk}
0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1
0	-	0	0	-	-
1	-	-	1	-	1

Определение 2. Отрицанием запретного t-кванта $tk_1\bar{A}$ называется t-квант

$$tk_1\bar{N} = \neg tk_1\bar{A}, \quad (8)$$

полученный из $tk_1\bar{A}$ путем инверсии его непустых компонент $D_A^{jk} : \forall j \forall k \left(D_N^{jk} = \neg D_A^{jk} \right)$ и пропуска пустых компонент (прочерков «-»).

5.2. Редуцирование импликативных tk-знаний (zRED-оператор)

При решении задач идентификации и прогнозирования часто возникает необходимость **редуци-**

рования (преобразования) системы tk-знаний как **импликативных (запретных) закономерностей** (т.е. Бtk3) по известному t-кванту наблюдений tk_1A за ОПР (т.е. по данным наблюдений). Содержательный смысл **оператора редукации** состоит в выделении из системы Бtk3 и упрощении только тех **запретных t-квантов**, которые имеют отношение к наблюдению tk_1A .

Определение 3. Процедура нахождения tk-знаний $tk_2\bar{\Sigma}^*$ с помощью оператора **zRED** в записи:

$$tk_2\bar{\Sigma}^* = zRED(tk_2\bar{\Sigma}_{BM} | tk_1Y_\omega), \quad (9)$$

где $tk_2\bar{\Sigma}_{BM} = Бtk3$, называется **оператором редукации** заданной системы **импликативных знаний Бtk3** по кванту наблюдений tk_1A (**zRED-оператором**). На квантовых структурах операторные преобразования имеют следующий вид (10):

$$\begin{aligned} \text{шаг1: } tk_2\bar{\Sigma}_B &= \begin{bmatrix} \bar{d}_1^1 : \bar{d}_2^1 : \dots : \bar{d}_1^1 : \dots : \bar{d}_n^1 \\ \bar{d}_1^2 : \bar{d}_2^2 : \dots : \bar{d}_1^2 : \dots : \bar{d}_n^2 \\ \dots \\ \bar{d}_1^j : \bar{d}_2^j : \dots : \bar{d}_1^j : \dots : \bar{d}_n^j \\ \dots \\ \bar{d}_1^k : \bar{d}_2^k : \dots : \bar{d}_1^k : \dots : \bar{d}_n^k \end{bmatrix} \xrightarrow{zRED} \\ \text{шаг2: } \rightarrow tk_2\bar{\Sigma}^* &= \begin{bmatrix} \bar{d}_1^1 : \bar{d}_2^1 : \dots : \bar{d}_1^1 : \dots : \bar{d}_n^1 \\ \dots \\ \bar{d}_1^j : \bar{d}_2^j : \dots : \bar{d}_1^j : \dots : \bar{d}_n^j \\ \dots \\ \bar{d}_1^k : \bar{d}_2^k : \dots : \bar{d}_1^k : \dots : \bar{d}_n^k \end{bmatrix} \xrightarrow{zMin} \\ \text{шаг3: } \rightarrow tk_2\bar{\Sigma}_{BM}^* &= \begin{bmatrix} \bar{d}_1^1 : \bar{d}_2^1 : \dots : \bar{d}_1^1 : \dots : \bar{d}_n^1 \\ \dots \\ \bar{d}_1^j : \bar{d}_2^j : \dots : \bar{d}_1^j : \dots : \bar{d}_n^j \\ \dots \\ \bar{d}_1^f : \bar{d}_2^f : \dots : \bar{d}_1^f : \dots : \bar{d}_n^f \end{bmatrix} \xrightarrow{Inv} \\ \rightarrow tk_sR &= \begin{bmatrix} \bar{d}_1^1 : \bar{d}_2^1 : \dots : \bar{d}_1^1 : \dots : \bar{d}_n^1 \\ \dots \\ \bar{d}_1^j : \bar{d}_2^j : \dots : \bar{d}_1^j : \dots : \bar{d}_n^j \\ \dots \\ \bar{d}_1^f : \bar{d}_2^f : \dots : \bar{d}_1^f : \dots : \bar{d}_n^f \end{bmatrix}, \quad (10) \end{aligned}$$

где d_i^j – домен, определяющий i -й признак j -й строки матрицы; $\overline{d_i^j}$ – запретный домен, определяющий i -й признак j -й строки матрицы.

zRED-оператор положен в основу **формальных** и **машинных** преобразований **tk-знаний**.

Выводы

Таким образом, разработана и сформулирована вербально, а также описана математически операторная модель вывода решений. *Операторная модель OM* предполагает вывод искомого решения в виде некоторого **tk-знания** путём алгоритмических (операторных) преобразований синтезированной при обучении **БtkЗ** согласно входному наблюдаемому **tk-знанию** за ОПР. В основе операторов лежит особая алгебра, приближенная к машинной, что дает возможность применять модель для реализации знаниеориентированной поддержки принятия решений в устройствах с программируемой логикой.

Литература

1. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления / И.Б. Сироджа. – К.: Наук. думка, 2002. – 490 с.
2. Куликов Д.Д. Конспект для студентов специальностей 22.03.00 (САПР), 19.10.01 / Д.Д. Куликов. – СПб.: Компьютербург, 2006. – 251 с.
3. Гринин В.Ю. Базы инженерных знаний в автоматизированном проектировании: учеб. пособие / В.Ю. Гринин. – Х.: Национальный аэрокосмический университет «ХАИ», 2005. – 59 с.
4. Зильбербург Л.И. Реинжиниринг и автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении / Л.И. Зильбербург, В.И. Молочник, Е.И. Яблочников. – СПб.: Компьютербург, 2003. – 152 с.
5. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: Проектирование и разработка: учеб.-практ. пособие / Ю.Н. Федоров. – М.: Инфра-Инженерия, 2008. – 928 с.

Поступила в редакцию 3.06.2008

Рецензент: д-р техн.наук, проф, зав. каф. информатики. Е.П. Путятин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

ОБҐРУНТУВАННЯ ТА МНОЖИННЕ ПОДАННЯ ОПЕРАТОРНОЇ МОДЕЛІ ТА МЕТОДУ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ У МЕХАНООБРОБЦІ

Л.С. Молодых

У статті розглянута проблема знанняорієнтованої підтримки прийняття рішень у технологічній підготовці виробництва. Запропонована операторна модель для підтримки прийняття рішень технологом при розробці технологічного процесу в механообробці, який характеризується множиною різнотипних даних і складних логічних зв'язків між ними. Знання технолога представлені точними квантами знань (tk-знання). Розглянута множинна інтерпретація операторної моделі, яка включає дві фази: відображення множини навчальних знань на множину імплікативних закономірностей, які описують базу точних квантів знань (БtkЗ); відображення БtkЗ на множину рішень по спостережуваному об'єкту прийняття рішень. Відображення здійснюються на основі розроблених операторів індукції й дедукції.

Ключові слова: операторна модель, прийняття технологічних рішень, точні кванти знань, імплікативні закономірності.

SUBSTANTIATION AND PLURAL REPRESENTATION OF OPERATIONAL MODEL AND METHOD FOR TECHNOLOGICAL DECISIONS ACCEPTANCE SUPPORT IN MACHINING PROCESS

L.S. Molodykh

In article the problem of decision-making knowledge-based supports in manufacture technological preparation is considered. The operational model for decision-making support by the technologist is offered by working out of technological process in machining process which is characterised by set of the polytypic given and difficult logic communications between them. Knowledge of the technologist is presented by exact quanta of knowledge (tk-knowledge). Plural interpretation of operational model which assumes two phases is considered: display of training knowledge set to set implicative the laws describing exact quanta of knowledge base (Btk3); display Btk3 to decisions set on observable decision-making object. Displays are carried out on the basis of the developed operators of an induction and deduction.

Key words: operational model, acceptance of technological decisions, exact quanta of knowledge, implicative laws.

Молодых Людмила Сергеевна – ассистент кафедры «Инженерия программного обеспечения», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: flamelia@mail.ru.