

ОПЕРАТОРНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ІНЖЕНЕРІЇ КВАНТІВ ЗНАНЬ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ У МЕХАНООБРОБЦІ

© Молодих Л., Сіроджа І, 2007

Операторне прийняття класифікаційних та прогностичних рішень передбачає таку послідовність операторних перетворень різнорівневих k-знань: використовуючи оператор індукції до таблиці емпіричних даних (ТЕД) як навчальних k-знання, синтезується база квантів знань (БкЗ). Потім, використовуючи оператор дедукції за початковими (вхідними) k-знаннями за об'єктом на основі БкЗ, приймається класифікаційне або прогностичне рішення у вигляді результуючого k-знання. Операторний метод прийняття рішень ґрунтується на комп'ютерному маніпулюванні векторно-матричними структурами (на відміну від існуючих методів), що дає змогу скоротити час створення БкЗ та підвищити ефективність комп'ютерного формування рішень.

Operating derivation of identification and prognostic decisions suppose such a sequence of operating transformations of different-level k-knowledge: using induction operator according to the given table of empirical data (TED) as learning k-knowledge the database of knowledge quanta (BkZ) is synthesized. Then using deduction operator according to the observed (input) k-knowledge of object, the searched identification or prognostic decisions are derived on the basis of BkZ in a form of resulting k-knowledge. Operating method of decision derivation is based on the computer manipulation of vector-matrix structures (unlike the existing methods), that allows to abbreviate the time for BkZ synthesis as a conclusive rule and to increase the efficiency of computer decision-making.

1. Стан проблеми й аналіз останніх досліджень

Трудомісткість і вартість технологічної підготовки виробництва (ТПП) зростає рік у рік. Збільшення складності ТПП викликано такими причинами:

- машини й прилади стають складнішими, що підвищує трудомісткість проектування технологічних процесів (ТП).
- з'являється тенденція до зниження серійності виробництва, зростає частка ТПП у загальній собівартості виробу.

Сучасна концепція застосування ЕОМ при ТПП ґрунтується на створенні "**Системи автоматизованого проектування технологічних процесів**" (САПР ТП). Аналіз останніх публікацій і досліджень показав, що можна виділити три рівні автоматизації ТП (табл. 1).

Таблиця 1

Рівні автоматизації ТП

Рівень	Призначення	Системи
1	Автоматизація оформлення технологічної документації (маршрутні, операційні карти й ін.)	ОКЕАН, АДЕМ, CADMech, T-Flex, КОМПАС й ін.
2	Автоматизація пошуку й розрахункових задач	ТехноПро, SprutTP, T-Flex
3	Автоматизація прийняття технологічних рішень	ТехноПро, SprutTP, АДЕМ, TechCard

Розв'язання задач 3-го рівня характеризується відсутністю формальних алгоритмів рішення, різнотипністю даних, відсутністю правил виводу. Це приводить до необхідності використання знань експерта предметної галузі й застосування засобів інженерії знань для створення експертних систем із збирання, представлення й маніпулювання цими знаннями для прийняття рішень.

Сучасна проблема прийняття рішень технологом під час технологічної підготовки виробництва (ТПП) є недостатньо автоматизованою. Це стосується технологічних задач, які потребують від технолога творчих рішень. Такі задачі слабо формалізовані й не мають стандартних математичних засобів і методів їхнього розв'язання. Тому актуальним є розроблення моделей і методів інженерії знань із метою автоматизації інтелектуальної праці технолога при ТПП за рахунок імітації логічних міркувань технолога під час розв'язання технологічних задач, а саме індуктивного побудови технологічної бази знань із часток даних про предметну галузь, і дедуктивного виведення рішень, спираючись на базу знань.

У статті розглянуто проблему автоматизації підтримки прийняття технологічних рішень під час проектування технологічних процесів у механообробці.

2. Постановка задачі

У зв'язку з відсутністю формалізованих методів й алгоритмів у ТПП, інтелектуальних систем для підтримки прийняття технологічних рішень необхідно створити моделі й методи інженерії квантів знань (к-знань), а також експертну систему для знанняорієнтованої підтримки рішень технолога під час проектування ТП у механообробці. Цю задачу розв'язують на основі використання й розвитку розробленого професором І.Б. Сіроджа методу різнорівневих алгоритмічних квантів знань (РАКЗ-метод)*. Зазначений метод був удосконалений і модифікований для випадку індуктивного побудови заборонної бази квантів знань (БкЗ).

У роботі запропоновано операторні моделі й методи побудови БкЗ, а також операторного виведення ідентифікаційних (В-задача) і прогнозних (С-задача) рішень, спираючись на метод представлення знань у вигляді різнорівневих алгоритмічних квантів (порцій) знань [1]. Операторний підхід ґрунтується на векторно-матричних представленнях і перетвореннях бази квантів знань із метою прийняття рішень. Операторні моделі припускають таку послідовність операторних перетворень (див. рисунок):

1. За початковими спостереженнями за об'єктом прийняття рішень (ОПР) формується таблиця емпіричних даних (ТЕД), представлена 2-х рівневим квантом знань;

2. Індуктивно за допомогою $zIND$ -оператора по ТЕД здійснюється пошук заборонних комбінацій значень ознак, формуючи тим самим заборонну базу квантів знань (БкЗ) у вигляді матриці розміру $m \times n$, де m – число квантів-рядків, n – кількість ознак ОПР;

3. Мінімізація БкЗ $zMin$ -оператором за допомогою видалення з БкЗ надлишкових квантів-рядків матриці, тобто тих, що перекривають один одного;

4. Дедуктивне виведення розв'язку складеним оператором $zDED$: застосування $zRED$ -оператора до БкЗ, що забезпечує виділення тих квантів-рядків з БкЗ, які мають відношення (перетинаються) до кванта-спостереження, щодо якого потрібно прийняти рішення (ідентифікаційне або прогнозне); потім виробляється стиск отриманого мінору матриці з БкЗ застосуванням $zMin$ -оператора, залишаючи єдиний рядок-квант, який є розв'язком задачі.

В-задача полягає у синтезі розпізнавальної операторної моделі дедуктивного виведення й алгоритмів маніпулювання к-знаннями для визначення значення **цільової характеристики** розпізнаваного ОПР, тобто **ідентифікації** його із заданою надійністю за зовнішніми спостереженнями, спираючись на попередньо накопичену БкЗ.

С-задача полягає у синтезі **прогносної** операторної моделі дедуктивного прийняття рішень й алгоритмів маніпулювання к-знаннями для **прогнозування** із заданою надійністю значень **невимірних характеристик ОПР** за обмірюваним значенням спостережуваних характеристик, спираючись на попередньо побудовану БкЗ.

* Сіроджа І.Б. Квантові моделі й методи штучного інтелекту для прийняття рішень і керування. – К.: Наукова думка, 2002. – 490 с.

Для розв'язання В,З-задач синтезовані оператори:

1) **індукції** $zIND(\delta k_2 \Sigma_0; AZ; \delta k_2 \overline{\Sigma_{BM}})$ для індуктивного висновку шуканої **заборонної** БкЗ із сукупності вибіркових навчальних k -знань, де в дужках зазначені параметри оператора $zIND$: $\delta k_2 \Sigma_0$ – навчальні вибіркові k -знання 2-го рівня; AZ – операторний алгоритм індуктивної побудови БкЗ як нових знань; $\delta k_2 \overline{\Sigma_{BM}}$ – мінімізована БкЗ у вигляді матричного кванта 2-го рівня як системи імплікативних закономірностей;

2) **дедукції** $zDED(\delta k_2 \Sigma_0; \delta k_1 Y_\omega; AL; \delta ks)$ для дедуктивного виводу шуканого рішення як нового k -знання s -го рівня ($s=1,2$) δks по s спостереженнях за ОПП $\omega \delta k_1 Y_\omega$, опираючись на **заборонну** БкЗ $= \delta k_2 \overline{\Sigma_{BM}}$, де AL – алгоритм дедукції.

3. Операторні моделі індуктивної побудови заборонної бази квантів знань та дедуктивного виводу прийнятих технологічних рішень

Ідея операторного підходу полягає в індуктивній операторній побудові імплікативної (заборонної) БкЗ та дедуктивному виведенні вирішального правила за спостереженнями за ОПП, представленого набором ознак. Для розв'язання поставленої задачі розроблені оператори: $zIND$ (індукція), $zMin$ (згортка\мінімізація), $zDED$ (дедукція), $zRED$ (редукція), Inv (інверсія).

Індуктивне виведення БкЗ із початкових спостережень за ОПП у вигляді кванта 2-го рівня (матриці) $\delta k_2 \overline{\Sigma_{BM}}$ полягає в пошуку заборонних (імплікативних) комбінацій ознак r -го рангу ($zNDS$ -оператор). Отримана заборонна БкЗ $= \delta k_2 \overline{\Sigma_B}$ мінімізується застосуванням оператора згортки ($zMin$ -оператор), формуючи безнадлишкову БкЗ $= \delta k_2 \overline{\Sigma_{BM}}$.

Дедуктивний висновок рішення полягає у визначенні значення класифікаційної ознаки (установлення приналежності ОПП до заданого класу) або невимірних ознак за допомогою $zRED$, Inv -операторів.

БкЗ являє собою систему імплікативних закономірностей вигляду:

Якщо (посилання), То (наслідки)

Ізоморфні подання квантів знань: векторно-матричні та предикатне дає змогу робити векторно-матричні перетворення, еквівалентні операціям математичної логіки. Маніпулювання знаннями ототожнюється з реалізацією формальних операцій над k -знаннями, процедур логічного міркування й виведення k -знань під час комп'ютерного формування прийнятих рішень.

3.1. Оператор індуктивного виведення імплікативних k -знань у вигляді БкЗ ($zIND$ -оператор)

Стійкий зв'язок між r характеристиками ОПП із загального числа n , ($r \leq n$), що виражає неприпустимість хоча б однієї комбінації їхніх значень на множині k -знань, називається **імплікативною закономірністю**, або **забороною r -го рангу** [1].

Існування імплікативної закономірності як деякого заборонного кванта знань s -го рівня з T_r , виходячи з ТЕД $T_0(m, N)$, ($s=1,2$), визначається **оцінкою її вірогідності**, що задовольняє нерівності

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

при заданому **припустимому граничному значенні (порозі) оцінки M_S^*** .

На практиці значення m й N **ранг r_{max}** виявляється **невеликим**, що дає змогу виявити всі **імплікативні** закономірності шляхом перевірки на **“заборонність”** інтервалів **рангу не вище r_{max}** . Диз'юнктивне об'єднання всіх знайдених заборонних інтервалів утворить аналітичний (предикатний) опис **заборонної** області, що відповідає **БкЗ**, а так само може бути представлене у вигляді двовимірної доменізованої матриці.

Алгоритмічна процедура

$$zIND(\delta k_2 \Sigma_0; AzIND; \delta k_2 \overline{\Sigma_{BM}}) = \delta k_2 \Sigma_0 \frac{zIND}{AzIND} \rightarrow \delta k_2 \overline{\Sigma_{BM}}$$

реалізуючий **індуктивний висновок** безнадлишкової заборонної **БкЗ** у вигляді сукупності **простих заборон** з **навчального** кванта знань $\delta k_2 \Sigma_0$ за допомогою алгоритму **AzIND** називається **оператором індуктивного висновку імплікативних k-знань (zIND-оператором)**.

Так, для задачі вибору виду заготовки для деталі “вал” маємо такий набір ознак:

$$X^1(D_{пр}) = \{\leq d_1, d_1 \div d_{прим}, > d_{прим}\}$$

$$X^2\left(\frac{P_{пр}}{P_{дет}}\right) = \{\leq W_1, W_1 \div W_2, > W_2\}$$

$$X^3(n) = \{\leq n_1, n_1 \div n_2, > n_2\}$$

$$X^4(\text{вид_заготовки}) = \{\text{пруток, поковка}\}$$

Семантичне навантаження ознак:

Посилкові ознаки: мінімально можливий діаметр заготовки d_1 (для валів $d_1 \leq 0,45$), найбільший діаметр прутка щодо застосовності $d_{прим}$, коефіцієнт використання матеріалу ($W=W_1 \div W_2$), величина партії ($n=n_1 \div n_2$), діаметр заготовки прутка $D_{пр}$, вага заготовки $P_{пр}$ і деталі $P_{дет}$.

Цільова ознака: вид заготовки (пруток, пакування).

За експериментальними даними ТЕД, наведеної у вигляді навчальної кванта-матриці $\delta k_2 \Sigma_0$, за допомогою zIND оператора було побудовано **БкЗ** (1), яка має вигляд кванта 2-го рівня, або доменізованої матриці. Домен являє собою набір можливих значень ознаки. Так, 1-ша, 2-га, 3-тя ознаки можуть набувати трьох значень, 4-та – двох: $x^1 = \{x_1^1, x_2^1, x_3^1\}$, $x^2 = \{x_1^2, x_2^2, x_3^2\}$, $x^3 = \{x_1^3, x_2^3, x_3^3\}$, $x^4 = \{x_1^4, x_2^4\}$.

Індуктивно було побудовано БкЗ, що у векторно-матричному поданні має вигляд (1).

Кожному рядку БкЗ вигляду (1) відповідає квант 0-го, 1-го рівня. Рядок-квант розділено на домени d^i , між ними «:», кожний з доменів відповідає одній ознаці x^i . Компонентам домена x_j^i відповідають конкретні значення ознаки, які можуть набувати значення із множини $\{0, 1, -\}$, де «1» – спостерігається значення ознаки, «0» – не спостерігається, «-» – не відомо.

БкЗ являє собою об'єднання (диз'юнкцію) строк-кон'юнктив.

$$\delta k_2 \overline{\Sigma_{BM}} = \begin{bmatrix} \overbrace{-10}^{x^1} & : & \overbrace{----}^{x^2} & : & \overbrace{----}^{x^3} & : & \overbrace{-1}^{x^4} \\ 0-1 & : & ---- & : & ---- & : & 0- \\ -1- & : & 1-- & : & ---- & : & -1 \\ -1- & : & --1 & : & ---- & : & 1- \\ -10 & : & -1- & : & --1 & : & 1- \\ -0- & : & --1 & : & -1- & : & 11 \\ ---- & : & 01- & : & 1-- & : & 01 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Еквівалентне аналітичне подання, що описує БкЗ (для простоти сприйняття знак кон'юнкції «^» замінюється на «•»):

$$\begin{aligned} & (x_2^1 \vee x_3^1) \cdot x_2^4 \vee (x_1^1 \vee x_3^1) \cdot x_1^4 \vee x_2^1 \cdot x_1^2 \cdot x_2^4 \vee x_2^1 \cdot x_3^2 \cdot x_1^4 \vee (x_2^1 \vee x_3^1) \cdot x_2^3 \cdot x_1^4 \vee \\ & \vee x_2^1 \cdot x_3^2 \cdot x_2^3 \cdot (x_1^4 \vee x_2^4) \vee (x_1^2 \vee x_2^2) \cdot x_1^3 \cdot (x_1^4 \vee x_2^4) = 1 \end{aligned} \quad (2)$$

Отже, БкЗ вигляду (2) являє собою пропозиціональну формулу.

3.2. Оператори дедуктивного виведення рішень із імплікативних k-знань (zDED-оператор)

Під час розв'язання задач класифікації й прогнозування ставиться задача визначити стан ОПР за квантом спостережень. Для розв'язання В-задачі класифікації необхідно визначити клас

приналежності об'єкта, а для розв'язання С-задачі – спрогнозувати категорію (значення). Для цього реалізується дедуктивне виведення квантів 0-го, 1-го, 2-го рівнів з імплікативної БкЗ.

Формально оператор дедуктивного виведення к-знань 0-го $\delta k_0 \beta_{ik}^{(j)}$, 1-го $\delta k_1 Y$ й 2-го $\delta k_2 \|Y\|$ рівнів (**zDED-оператор**) має такий вигляд:

$$zDED(\delta k_2 \overline{\Sigma_{BM}}; ALI; \delta k_s R) = \begin{matrix} zDED & & zDED & & zDED \\ = \{ \delta k_2 \overline{\Sigma_{BM}} \Rightarrow \delta k_2 \|Y\|, & \delta k_2 \overline{\Sigma_{BM}} \Rightarrow \delta k_1 Y, & \delta k_2 \overline{\Sigma_{BM}} \Rightarrow \delta k_0 \beta_{ik}^{(j)} \} \\ AL1 & & AL3 & & AL2 \end{matrix}$$

де $\delta k_2 \overline{\Sigma_{BM}}$ – відома база **імплікативних к-знань**.

Шукані наслідки $\delta k_2 \|Y\|$, $\delta k_1 Y$, $\delta k_0 \beta_{ik}^{(j)}$ являють собою різнорівневі **к-знання**, що характеризують **прийняті рішення** в задачах В та С за результатами спостережень.

Алгоритм AL оцінки можливого **стану ОПР** за квантом спостережень, спираючись на **БкЗ**, це реалізація **дедуктивного висновку** шуканого рішення за схемою, наведеної на рисунку.

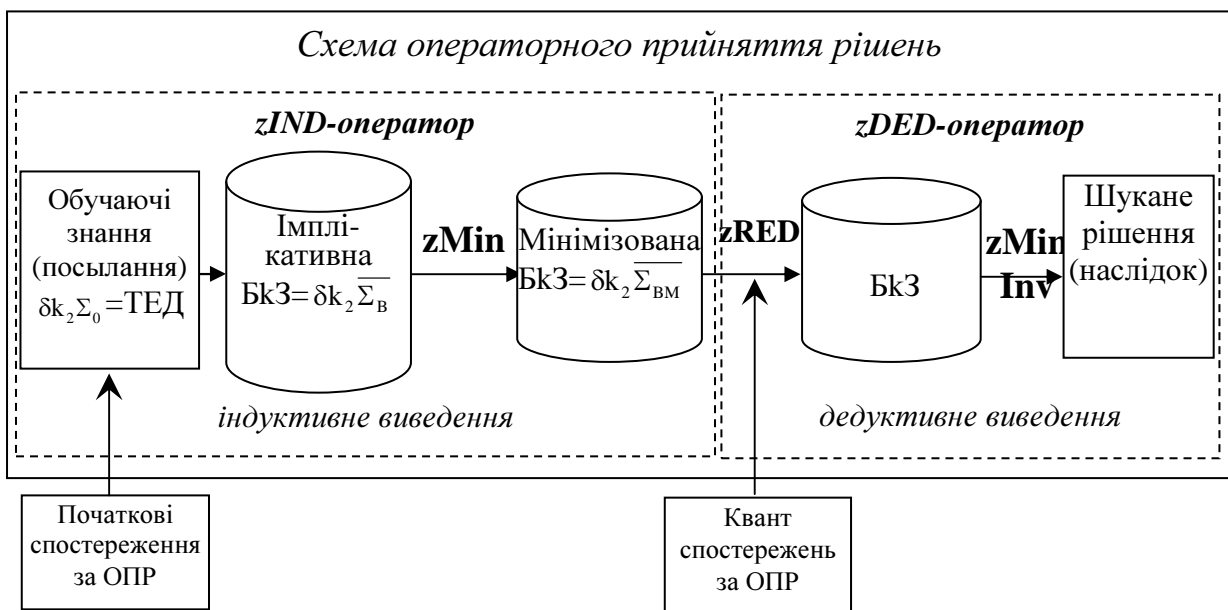


Схема функціонування системи операторного прийняття рішень

3.3. Редукування імплікативних к-знань.

Оператор редукації заборонної БкЗ (zRED-оператор)

Під час розв'язання В- і С-задач виникає необхідність **редукування** (*перетворення*) системи **к-знань** $\delta k_2 \overline{\Sigma_{BM}}$ як **імплікативних** (заборонних) **закономірностей** (тобто **БкЗ**) за відомим **квантом спостережень** $\delta k_1 Y_\omega$ за **ОПР** ω (тобто за даними *спостережень*).

Змістовний зміст **оператора редукації** полягає у виділенні із системи $\delta k_2 \overline{\Sigma_{BM}} = \text{БкЗ}$ і спрощенні тільки тих **заборонних квантів**, які стосуються спостережень $\delta k_1 Y_\omega$. Іншими словами, виявляються деякі **нові знання** $\delta k_2 \Sigma^*$ про об'єкт ω , локалізовані в інтервалі простору \mathbf{B}_n ознак. Алгоритмічно це означає, що необхідно видалити з $\delta k_2 \overline{\Sigma_{BM}}$ **заборони-інтервали**, які не перетинаються з $\delta k_1 Y_\omega$.

Процедура знаходження к-знань $\delta k_2 \Sigma^*$ за допомогою алгоритму **zRED** у записі:

$$\delta k_2 \Sigma^* = zRED(\delta k_2 \overline{\Sigma_{BM}} \mid \delta k_1 Y_\omega),$$

де $\delta k_2 \overline{\Sigma_{\text{BM}}} = \text{БкЗ}$, називається *оператором редуції* заданої системи імплікативних знань **БкЗ** за квантом спостережень $\delta k_1 Y_{\omega}$ (скорочено – **zRED-оператором**).

Під час редукування аналітичним способом підставляють відомі значення ознак спостереження $\delta k_1 Y_{\omega}$ до пропозиціональної формули, що описує **БкЗ**. Так, для $\delta k_1 Y_{\omega} = [001:10-:010:--]$ вираз вигляду (2) у разі підстановки дає такий результат:

$$\begin{aligned} & (0 \vee \bar{1}) \cdot x_2^4 \vee (\bar{0} \vee 1) \cdot \bar{x}_1^4 \vee 0 \cdot 1 \cdot x_2^4 \vee 0 \cdot x_3^2 \cdot x_1^4 \vee (0 \vee \bar{1}) \cdot 0 \cdot x_3^3 \cdot x_1^4 \vee \bar{0} \cdot x_3^2 \cdot 1 \cdot (x_1^4 \vee x_2^4) \vee (\bar{1} \vee 0) \cdot 0 \cdot (\bar{x}_1^4 \vee x_2^4) \approx \\ & \approx 0 \vee \bar{x}_1^4 \vee 0 \vee 0 \vee 0 \vee x_3^2 \cdot (x_1^4 \vee x_2^4) \vee 0 \approx \\ & \approx \bar{x}_1^4 \vee x_3^2 \cdot (x_1^4 \vee x_2^4) \end{aligned}$$

Звідси впливають аналогічні дії zRED-оператора, тільки на векторно-матричній структурі БкЗ вигляду (1):

Правила редукування:

1. Перемножування (підстановка) «0» на «1» дає «0»
2. Підстановка «1» в «0» дає «0»
3. Підстановка «1» або «0» в «-» дає «-»
4. Підстановка «-» в «0» дає «0»
5. Підстановка «-» в «1» дає «1»

		елементи матриці БкЗ		
		Що\Куди	«0»	«1»
значення кванта спостережень	«0»	1	0	-
	«1»	0	1	-
	«-»	0	1	-

Підстановка значень кванта спостережень $\delta k_1 Y_{\omega} = [001:10-:010:--]$ у БкЗ за правилами редуції дає такий результат:

$$\delta k_2 \overline{\Sigma_{\text{BM}}} = \begin{bmatrix} \overbrace{-00}^{x^1} & \overbrace{---}^{x^2} & \overbrace{---}^{x^3} & \overbrace{-1}^{x^4} \\ 1-1 & --- & --- & 0- \\ -0- & 1-- & --- & -1 \\ -0- & --1 & --- & 1- \\ -00 & -0- & --1 & 1- \\ -1- & --1 & -1- & 11 \\ --- & 00- & 0-- & 01 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} : & : & : \\ 1-1 & --- & --- & 0- \\ : & : & : \\ : & : & : \\ : & : & : \\ -1- & --1 & -1- & 11 \\ : & : & : \end{bmatrix} \quad (3)$$

Визначення 1. Домен d^i ознаки x^i називається *нульовим*, якщо компоненти домена набувають значення «0», а також допускаються значення «-».

Визначення 2. Квант $\delta k_1 Y$ називається *виродженим*, якщо хоча б один домен нульовий.

Визначення 3. Пересічними називаються кванти, які у разі покомпонентного перемножування не дають жодного нульового домена.

Під час підстановки кванта спостережень у БкЗ із БкЗ віддаляються вироджені кванти-рядки і залишаються кванти, які перетинаються із квантом спостережень що узгоджується з діями аналітичних перетворень, наведених вище.

3.4. Метод оптимізації БкЗ. Оператор мінімізації (Min-оператор)

Для будь-якої *матричної* системи *заборонних* кон'юнктив $\delta k_2 \Sigma = \delta k_2 \|\overline{S}\|$ (*заборон*) існує *еквівалентна* їй *мінімальна* система $\delta k_2 \Sigma_m = \delta k_2 \|\overline{\Pi}\|$ за *кількістю r рядків-квантів 1-го* рангу $\delta k_1 \overline{\Pi}_1, \dots, \delta k_1 \overline{\Pi}_r$, що складається винятково із *простих заборонних* квантів $\delta k_1 \overline{\Pi}_j (j=1,2,\dots,r)$. Це дає змогу поширити класичні методи мінімізації булевих функцій на кінцеві предикати.

Отже, із застосуванням таких операцій можна кількісно зменшити побудовану БкЗ: склеювання $xu \vee xu = x$, поглинання $xu \vee x = x$, згортка.

3.1. Склеювання ($xu \vee xu = x$)

$$tk_2 \overline{\Sigma_B} = \begin{bmatrix} 01- : -1 : -1-- \\ 01- : 0- : -1-- \\ -10 : 1- : ---0 \\ --- : 1- : ---0 \\ \underline{1-- : -0 : --1-} \\ \underline{0-- : -0 : --1-} \end{bmatrix} \Rightarrow tk_2 \overline{\Sigma_{B1}} = \begin{bmatrix} 01- : -1 : -1-- \\ 01- : 0- : -1-- \\ -10 : 1- : ---0 \\ --- : 1- : ---0 \\ \underline{--- : -0 : --1-} \end{bmatrix}$$

3.2. Поглинання ($xu \vee x = x$)

$$tk_2 \overline{\Sigma_{B1}} = \begin{bmatrix} 01- : -1 : --0- \\ 01- : 0- : -1-- \\ \underline{-10 : 1- : ---0} \\ \underline{--- : 1- : ---0} \\ --- : -0 : --1- \end{bmatrix} \Rightarrow tk_2 \overline{\Sigma_{B2}} = \begin{bmatrix} 01- : -1 : -1-- \\ 01- : 0- : -1-- \\ \underline{--- : 1- : ---0} \\ --- : -0 : --1- \end{bmatrix}$$

3.3. Згортка (об'єднання квантів, які відрізняються одним доменом)

$$tk_2 \overline{\Sigma_{B2}} = \begin{bmatrix} \underline{01- : -1 : -1--} \\ \underline{01- : 0- : -1--} \\ --- : 1- : ---0 \\ --- : -0 : --1- \end{bmatrix} \Rightarrow tk_2 \overline{\Sigma_{BM}} = \begin{bmatrix} \underline{01- : 01 : -1--} \\ --- : 1- : ---0 \\ --- : -0 : --1- \end{bmatrix}$$

Тобто розроблені операторні моделі інженерії квантів знань забезпечують вирішення актуальної проблеми підтримки прийняття рішень, ґрунтуючись на знаннях експертів предметної галузі, які представлені у вигляді бази квантів знань (БкЗ). Операторна модель індуктивної побудови БкЗ припускає ряд векторно-матричних перетворень (zIND-оператор) з метою виявлення заборонних комбінацій значень ознак, що не втримуються в ТЕД. Операторна модель дедуктивного виведення ідентифікаційних і прогнозних рішень (zDED-оператор) передбачає операторні перетворення матричної структури БкЗ, що полягають у локалізації тих знань, що втримуються в БкЗ, які стосуються спостережуваної ситуації (zRED-оператор). Це забезпечує виведення значення класифікаційної ознаки (для В-задачі) або значень невимірних ознак (для С-задачі).

Висновок

У межах досліджень розглянутої проблеми й поставлених задач отримано такі результати:

- проаналізовано область досліджень автоматизованої підтримки прийняття рішень під час проектування технологічних процесів у механообробці;
- проаналізовано предметну галузь, що вимагає застосування інтелектуальних систем: технологічна підготовка виробництва на підприємствах авіаційного профілю; обґрунтована актуальність інтелектуальної підтримки технолога під час проектування ТП;
- запропоновано квантову модель і метод інженерії знань для прийняття ідентифікаційних і прогнозних рішень у складних умовах невизначеності, які виникають внаслідок неповноти даних;
- розроблено операторні моделі й методи побудови бази квантів знань технолога й виведення рішень;
- розроблено оператор індуктивної побудови БкЗ (zIND-оператор), оператор дедуктивного виведення рішень (zDED-оператор), оператор редукції (zRED-оператор), мінімізації БкЗ (zMin-оператор).

Практична цінність роботи полягає в створенні (на основі отриманих автором нових теоретичних розробок) і впровадженні методів штучного інтелекту, які значно підвищують ефективність й якість рішень, прийнятих у технологічній підготовці виробництва.