

## СПЕЦІАЛІЗОВАНІ СПОСОБИ СТРУКТУРУВАННЯ БАЗИ ЗНАНЬ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СКЛАДНОГО ОБ'ЄКТА АВІТЕХНІКИ

Національний авіаційний університет

*Обґрунтовується необхідність застосування концептуального підходу до способів формування бази знань, що забезпечує роботу автоматизованої системи діагностування та підтримки прийняття рішень авіаперсоналу в умовах регулярної експлуатації типового складного динамічного об'єкта авіаційної техніки*

### Вступ

Виходячи із основних положень та визначень теорії інженерії знань [1,2] й аналізу сучасних автоматизованих систем [3], під автоматизованою системою діагностування й підтримки прийняття рішень (АСД ППР) типового об'єкта авіа-техніки (АТ) розуміють таку діалогову автоматизовану систему, в якій використовуються розроблені бази поточних даних від штатної системи контролю типового об'єкта АТ та потужні бази знань (концептуальних, експертних, правил, тощо) стосовно об'єкта даного типу і його конкретного екземпляру, що діагностується, для рішення задач оцінки технічного стану на поглиблених рівнях (до конструктивного вузла або елемента) й вироблення конкретних рекомендацій. Основою для її роботи є наявність розрахунково-логічних програм та алгоритмів аналітичних інформативно-діагностичних моделей (ІДМ) робочих процесів цих об'єктів, розрахунково-інформаційних методів ідентифікації виду технічного стану (ТС) і методик прогнозування динаміки деградації вузлів (елементів) екземплярів об'єктів, що діагностуються. При цьому застосовуються інформаційні індикативні засоби з метою відображення авіаперсоналу якісної та кількісної поточної діагностичної інформації й відповідних експлуатаційно-технологічних рішень-рекомендацій, які допомагають йому оперативно прийняти певне експлуатаційне рішення щодо подальшого режиму експлуатації даного екземпляру об'єкта АТ.

Отже, АСД ППР об'єктів АТ працюють у тісному поєднанні із штатними вбудованими системами контролю та діагностування цих об'єктів, які вимірюють та реєструють поточну інформацію щодо значень контрольованих параметрів на всіх режимах роботи у польоті або наземних умовах, тобто в режимі реального часу. Враховуючи сучасну узагальнену класифікацію АСД ППР [3], вони класифікуються як динамічні гібридні програмні комплекси на базі персональних електронно-обчислювальних машин (ПЕОМ), що являються автоматизованими надбудовами до існуючих штатних систем контролю типових складних динамічних об'єктів АТ.

Концептуальною особливістю використання прикладних АСД ППР типових об'єктів АТ є удосконалення технологій збору, обробки та системного аналізу значних об'ємів параметричної інформації, що формуються в процесі їх експлуатації. Саме тому розроблення нових технологій побудови та використання АСД ППР є актуальною прикладною науково-технічною проблемою, яка потребує ефективного вирішення.

Модель процесу взаємодії бази знань в середовищі автоматизованої системи

Сучасні автоматизовані системи являють собою досить складний програмний продукт, заснований на взаємодії різномірних (гетерогенних) баз знань (БЗ) з гібридними аналітичними інформативно-діагностичними моделями складних динамічних систем. Так, прикладні АСД ППР авіаційних газотурбінних дви-

гунів (ГТД) (типу XMAN, TIL Shell 3.0+) поєднують у собі комплексні підходи до представлення БЗ, в яких використовуються логічні методи, апарат семантичних мереж, фреймів, нечіткої логіки, нейронних мереж, генетичних алгоритмів [3]. При цьому БЗ АСД ППР включає кілька гетерогенних баз: експертних знань (БЕЗ), концептуальних знань (БКЗ), правил (БП) оперування знаннями і блоку когнітивної (пізнавальної) графіки (БКГ) подання знань (рис. 1). У БЕЗ розміщуються експертні дані про "портрети" об'єкта діагностування при виникненні в його конструктивних вузлах (елементах) характерних експлуатаційних несправностей, правила їхнього розпізнавання і визначення поточного технічного діагнозу типового об'єкта АТ, прогнозування динаміки зміни технічного стану, технології усунення ідентифікованих несправностей та інша експертна інформація. БЕЗ представляється у виді чітких, нечітких і комбінованих продукцій.

пертні дані про "портрети" об'єкта діагностування при виникненні в його конструктивних вузлах (елементах) характерних експлуатаційних несправностей, правила їхнього розпізнавання і визначення поточного технічного діагнозу типового об'єкта АТ, прогнозування динаміки зміни технічного стану, технології усунення ідентифікованих несправностей та інша експертна інформація. БЕЗ представляється у виді чітких, нечітких і комбінованих продукцій.

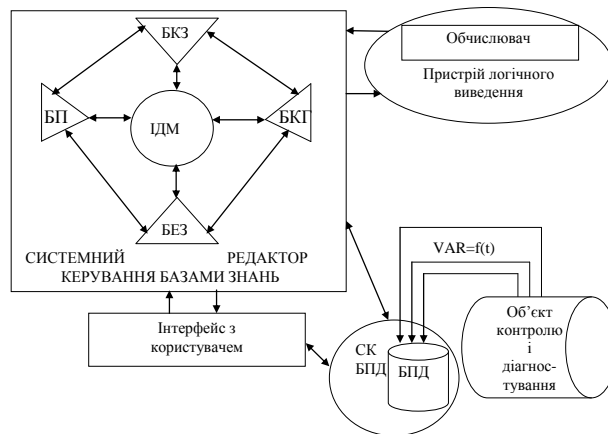


Рис. 1. Концептуальна модель процесу взаємодії гетерогенних баз знань

у середовищі динамічної автоматизованої системи діагностування об'єкта АТ

Наприклад, «якщо X, то Y», де X – умова виду  $DIV X_1 \vee X_2 \vee \dots \vee X_n$ ;  $X_i$  – змінна у вигляді  $x_{11} \& x_{12} \& \dots \& x_{1n}$ ; Y – відповідна дія у вигляді  $y_1 \& y_2 \& \dots \& y_m$ . Нечіткість у БЕЗ можна представити для загального випадку наступним чином:  $(X \rightarrow Y(Z))$ , де  $\{X\}, \{Y\}, \{Z\}$  – нечіткі множини, що частково або цілком визначають невизначені параметри діагностичної нечіткої моделі ГТД. Отже, процес пошуку рішення задачі обчислювачем на аналітичній діагностичній моделі в середовищі АСД ППР здійснюється за наступним запитом:  $ІДМ(K_1) \rightarrow ІДМ(K_2) \{ \Sigma \tau \}$ , де ІДМ – аналітична інформативно-діагностична модель робочого процесу типового об'єкта АТ;  $K_1, K_2$  – комплекс діагностичних параметрів та ознак конструктивних вузлів об'єкта АТ;  $\{ \Sigma \tau \}$  – набір логічних операторів.

Процес діагностування складного об'єкта авіатехніки (тобто визначення причинно-наслідкових зв'язків) у середо-

вищі БЕЗ АСД ППР являє собою декомпозицію наступного виду:

Задача(X)  $\rightarrow$  (Підзадача 1( $X_1$ )#...# Підзадача N( $X_n$ )), де X- набір вхідних і вихідних параметрів задачі, що вирішується, # - символ переходу від одного блоку БЕЗ до іншого. Крім того, кожна задача, що розв'язується, може бути декомпонована на ряд цільових підзадач. Отже, основна задача в БЕЗ перетворюється в послідовність цільових підзадач:

$$\begin{aligned} \text{Задача}(X) &= \text{Властивість} \rightarrow \text{Підзадача} 1(X_1) \\ &= \text{Властивість} 1 \# \dots \# \text{Підзадача} N(X_n) \\ &= \text{Властивість} n. \end{aligned}$$

У БКЗ динамічної АСД ППР складного типового об'єкта АТ розміщуються індивідуальні еталонні (стендові) дані про екземпляр об'єкта діагностування при його нормальній (справній) роботі, аналітична інформативно-діагностична модель розрахунку діагностичних параметрів та прийняті припущення у виді формул, таблиць, графіків, нечітких правил, алгорит-

мів і т.п., що забезпечують структурну і фізичну організацію БЗ. При цьому форми представлення знань у АСД ППР розділяються на описові (декларативні) і обчислювальні (процедурні), хоча цей поділ достатньо умовний, тому що ІДМ, яка адаптована в її програмну оболонку, може ефективно використовувати обидві форми представлення знань (як логічну, так і мережеву). Так основою логічної ІДМ у середовищі АСД ППР є формальна система, яка у загальному виді може бути задана наступним чином:  $M = \langle S, R, B, F \rangle$ , де  $S$  – множина базових вузлів (елементів) моделі;  $R$  – множина аналітичних і синтаксичних правил для характеристики  $S$  множини базових вузлів;  $B$  – множина істинних виразів (аксіом);  $F$  – семантичні (нечіткі) правила для побудови аксіом з інших виразів.

У мережевій моделі АСД ППР на відміну від логічної можливо охопити більш складний спектр знань за рахунок включення в явній формі всіх відносин, що утворюють інформаційну структуру у виді семантичних (нейронних) мереж і фреймів [3].

База правил оперування знаннями в середовищі АСД ППР реалізується у виді набору генетичних алгоритмів рішення, логічних і мережевих переходів, що забезпечують організаційну структуру БЗ (наприклад, ПРИ <умова>, ТОДІ <дія>, або ДЛЯ <умова>, ПОРІВНЯТИ З <дія>).

Функціонування БЗ забезпечується системою керування базами знань системного редактора у виді спеціальної програмної оболонки високого рівня [1]. Програма автоматизованої системи реалізується об'єктно-орієнтованою мовою програмування C++ і дозволяє функціонально розширюватися С-функціями користувача, що потім додаються в БКЗ як окремі поняття.

Схеми взаємодії гетерогенних БЗ (БЕЗ, БКЗ, БП) з ІДМ і БПД у середовищі АСД ППР типового складного об'єкта АТ (рис. 1) та загальна процедура звертання до ІДМ у системі виглядає так:  $\langle U \rangle \langle P \rangle \langle S \rangle$ , де  $\langle U \rangle$  – складова (вузол) об'єкта ді-

агностування в БЗ;  $\langle P \rangle$  – поняття (діагностичний параметр або ознака) у БЗ;  $\langle S \rangle$  – множина вхідних і вихідних параметрів ІДМ.

Робота ІДМ із декількома БЗ і БПД у АСД ППР забезпечується шляхом їхнього об'єднання в єдиному інформаційному просторі завдяки вхідній мові інтерпретуючого типу, що дозволяє ефективно адаптувати і розширювати аналітичну ІДМ типового об'єкта АТ. Обчислювач разом із пристроєм логічного виведення в автоматизованій системі може вирішувати прямі, зворотні і змішані задачі.

### **Способи структурування бази знань АСД ППР «ЕКСПЕРТ-об'єкт АТ»**

Стадія структурування або концептуального аналізу бази знань автоматизованої системи діагностування й підтримки прийняття рішень є однією з найскладніших у циклі розробки такої інтелектуальної системи. Головна проблема структурування знань в середовищі АСД ППР полягає у складності якомога повного відображення предметної області (наприклад, робочого процесу проточної частини сучасного авіаційного ГТД), управління процесом розроблення розрахункових алгоритмів, а також забезпечення гнучкості кінцевого програмного продукту й опису поведінки її окремих підсистем.

При проектуванні складних систем (типу АСД ППР "ЕКСПЕРТ – об'єкт АТ") із застосуванням методів структурування інформації традиційно використовується ієрархічний підхід [2]. На вищих рівнях ієрархії використовуються найменш деталізовані уявлення, що відображають лише найбільш загальні риси й особливості системи, що проектується в базі знань. На наступних рівнях ступінь подробиць збільшується, а система вже розглядається не в цілому, а окремими блоками. Такий спосіб структурування знань одержав назву блочно-ієрархічного, одна з переваг якого полягає у тому, що складна задача великої розмірності розбивається на послідовне вирішення задач малої розмірності. При цьому у зазначеному способі на

кожному рівні застосовується свій опис процесу (об'єкта) і його елементів. Елемент  $i$ -го рівня являється системою для рівня  $i - 1$ . Переміщення від рівня до рівня бази знань має сувору направленість, порушення якої не дає змоги працювати на іншому рівні, тобто стратегія моделювання бази знань має бути: зверху → униз або знизу → уверх. Наприклад, за такою схемою побудовані розрахункові алгоритми аналітичних інформативно-діагностичних моделей робочих процесів проточної частини типових ГТД.

Але всю базу знань АСД ППР, що проектується, типового об'єкта АТ за таким способом побудувати важко. Тому можна застосовувати об'єктно-структурний спосіб, запропонований у роботі [1], який дозволяє об'єднати дві протилежні стратегії структурування – дедуктивну (нисхідну) STR td (top-down) з послідовною декомпозицією об'єкта діагностування (тобто, визначення технічного діагнозу об'єкта АТ) з направленістю процесу зверху-донизу і індуктивну (висхідну) STR bu (bottom-up) з поступовим узагальненням понять і збільшенням ступеня абстрактності опису знизу-доверху (тобто, прогнозування динаміки погіршення ТС об'єкта АТ і прийняття експлуатаційно-технологічних рішень щодо подальшого режиму його експлуатації).

Синтез цих двох стратегій структурування, а також надання можливості ітеративних повернень на попередні рівні узагальнення приводять до застосування дуальної концепції [1], яка надає аналітику широку палітру можливостей на стадії структурування знань як для формування концептуальної структури бази знань АСД ППР (SK), так і для її функціональної структури (Sf).

На рис. 2 проілюстровано застосування дуальної (двомірної) концепції, що адаптована автором для проектування баз концептуальних та експертних знань (SK) АСД ППР "ЕКСПЕРТ – об'єкт АТ" типового складного динамічного об'єкта АТ з метою оперативної допомоги авіаперсоналу при оцінці поточного технічного стану екземпляру авіадвигуна в умовах регулярної експлуатації.

Проте, такий синтез дедуктивної та індуктивної стратегій структурування знань може бути недостатнім у деяких випадках при побудові АСД ППР складного об'єкта АТ з глибиною діагнозу до його конструктивного вузла/елемента (наприклад, для проточної частини ГТД із застосуванням перехідних режимів роботи). Для цього випадку на кожному з рівнів структурування бази знань пропонується застосовувати ще й стратегію паралельної (горизонтальної) декомпозиції STRph (parallel-horizontal) об'єкта діагностування стосовно його поведінки при переході від одного стаціонарного режиму роботи на інший. Отже, поєднання дуальної концепції зі стратегією паралельного структурування на кожному з рівнів дозволяє створити (тримірну) концепцію структурування бази знань прикладної АСД ППР будь-якого об'єкта АТ, зокрема проточної частини ГТД, з глибиною діагностування до елемента його конструкції. Запропонований синтез трьох стратегій структурування бази знань є розвитком вищезазначеної дуальної концепції. На рис. 3 ілюструється фрагмент застосування стратегії паралельної (горизонтальної) декомпозиції при структуруванні об'ємної бази знань АСД ППР об'єкта АТ.

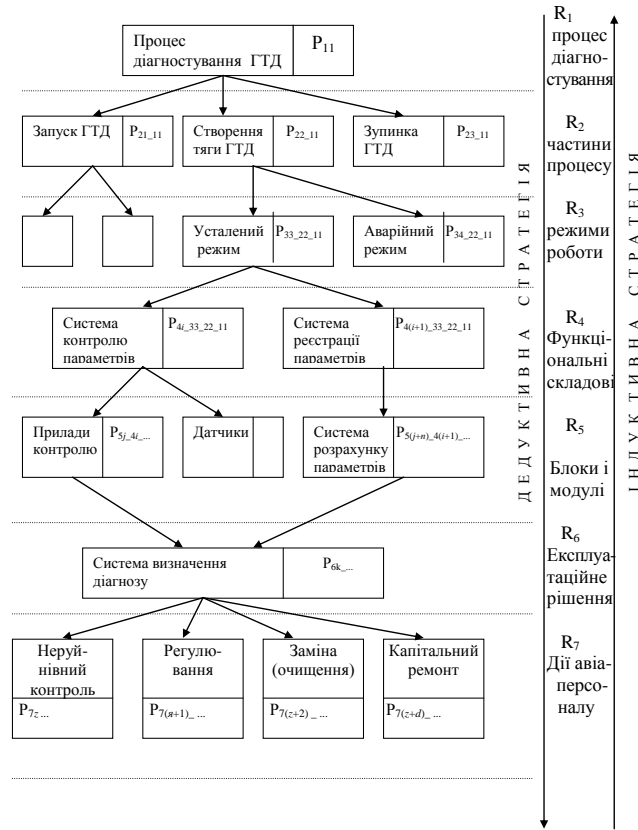


Рис. 2. Застосування дуальної концепції проектування бази знань АСД ППР "ЕКСПЕРТ – об'єкт АТ" на прикладі авіадвигуна



Рис. 3. Фрагмент застосування стратегії паралельної (горизонтальної) декомпозиції STRph при структурванні бази знань спеціалізованої автоматизованої системи діагностування й підтримки прийняття рішень (на прикладі моделювання перехідних робочих режимів роботи ГТД для одного з рівнів за дуальною концепцією):  $R_3$  – третій рівень бази знань, де проектується знання щодо режимів роботи ГТД;  $Z_1, Z_2, Z_n$  – база знань для визначених усталених режимів роботи ГТД, на яких здійснюється діагностування;  $P_1, P_2, P_n$  – база знань для визначених перехідних режимів роботи ГТД, на яких здійснюється діагностування;  $l, h$  – відповідні межі коливань режимів роботи ГТД.

Дедуктивна стратегія STRtd структурування бази знань АСД ППР декларує переміщення зверху-донизу від  $n \Rightarrow n + 1$ ,

де  $n$  –  $n$ -й рівень ієрархії понять об'єкта діагностування з послідовною деталізацією

єю понять, що належать відповідним рівням:

$$STRtd: P_i^n \Rightarrow P_1^{n+1}, \dots, P_{k_i}^{n+1},$$

де  $n$  – номер рівня концепту, що породжує;  $i$  – номер концепту, що породжує;  $k_i$  – кількість концептів, що породжуються на рівні  $n + 1$ .

Індуктивна стратегія STRbu структурування передбачає переміщення по базі знань АСД ППР знизу-доверху  $n \Rightarrow n - 1$  з послідовним узагальненням понять:

$$STRbu: P_1^n, \dots, P_{k_i}^n \Rightarrow P_i^{n-1},$$

де  $n$  – номер рівня концептів, що породжують;  $i$  – номер концепту, що породжується;  $k_i$  – кількість концептів, що породжуються, на рівні  $n$ .

Паралельна стратегія STRph структурування дозволяє переміщення по базі знань АСД ППР в межах будь-якого з її рівнів не лише на його довжину ( $nl \Rightarrow nl+1$ ), але й на його ширину ( $nz \Rightarrow nz+1$ ), або навіть товщину ( $nh \Rightarrow nh+1$ ):

$$STRph: P_{l_i z_i}^n \Rightarrow P_{l_i z_i}^n, \dots, P_{l_j z_j}^n,$$

де  $n$  – номер рівня концепту, що породжується;  $i$  – номер концепту, що породжує;  $l_i z_j$  – кількість концептів, що породжуються у двомірному шарі  $n$ -го рівня. Основою для припинення агрегування, дезагрегування та рівневого розширення бази знань АСД ППР являється повне використання словника термінів, яким користується експерт. При цьому кількість, ширина і товщина рівнів є значущим фактором успішності структурування бази знань автоматизованої системи типового складного динамічного об'єкта АТ.

Об'єктно-структурний аналіз передбачає розробку і використання матриці ОСА, яка дозволяє всю зібрану інформа-

цію дезагрегувати послідовно за прошарками-стратами (вертикальний аналіз), а потім за рівнями – від рівня проблеми діагностування об'єкта АТ до рівня підзадачі визначення дій авіаперсоналу (горизонтальний аналіз). Або навпаки – спочатку за рівнями, а потім за стратами (рис. 2, 3).

### Висновки

Застосовані дедуктивний та індуктивний способи декомпозиції знань, синтез яких утворює дуальну концепцію структурування бази знань, не дозволяє у повному обсязі задовольнити вимоги до її формування для складних динамічних багаторежимних авіаційних об'єктів експлуатації, таких, як авіаційні двигуни та функціональні системи сучасних повітряних суден. Обґрунтована та запропонована до застосування тріадна концепція структурування бази знань, яка є методологічним розвитком дуальної концепції, дозволяє повністю забезпечити формування структури бази знань прикладної АСД ППР типу «ЕКСПЕРТ-об'єкт АТ».

### Список літератури

1. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский.—С-Пб.: Питер, 2001.—384с.
2. Введение в экспертные системы / [научн. ред. П. Джексон].—М.: Изд. Дом «Вильямс», 2001.— 624с.
3. Чоха Ю.М. Прикладні автоматизовані системи діагностування та підтримки прийняття експлуатаційних рішень: Методи, моделі, інформаційні технології: Монографія /Ю.М.Чоха, В.В.Кретов.—К.: Ун-т Україна, 2010.—488с.