

УДК 005.681.518.54(045)

СТРУКТУРИЗАЦІЯ БАЗИ ЗНАНЬ У СЕРЕДОВИЩІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ АВІАЦІЙНОГО ОБ'ЄКТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ**Ю. М. Чоха**, д-р техн. наук, доц.

Національний авіаційний університет

vladimirvkozlov@yandex.ru

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

Ключові слова: автоматизована система, база знань, дедукція, декомпозиція, діагностування, параметрична інформація, структура.

The necessity of applying a conceptual approach to methods of forming a knowledge base that provides the automated diagnosis and decision support system for the staff in the regular operation of a typical complex dynamic aviation object.

Keywords: automated system, knowledge base, deduction, decomposition, diagnostic, parametrical information, structure.

Вступ

Виходячи з 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 авіаційної 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 діагностованого екземпляру, для розв'язання задач оцінювання 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 діагностованих об'єктів. При цьому застосовуються інформаційні індикативні засоби з метою відображення авіаційного персоналу якісної та кількісної потокової 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 зі штатними вбудованими системами контролю та діагностування цих об'єктів, які вимірюють та реєструють потокову інформацію щодо значень контрольованих параметрів на

всіх режимах роботи в 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) (або робочих станцій), що є 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 обсягів 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 у 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 двигунів (ГТД) (типу XMAN, TIL Shell 3.0⁺) поєднують у собі комплексні підходи до представлення БЗ, у 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).

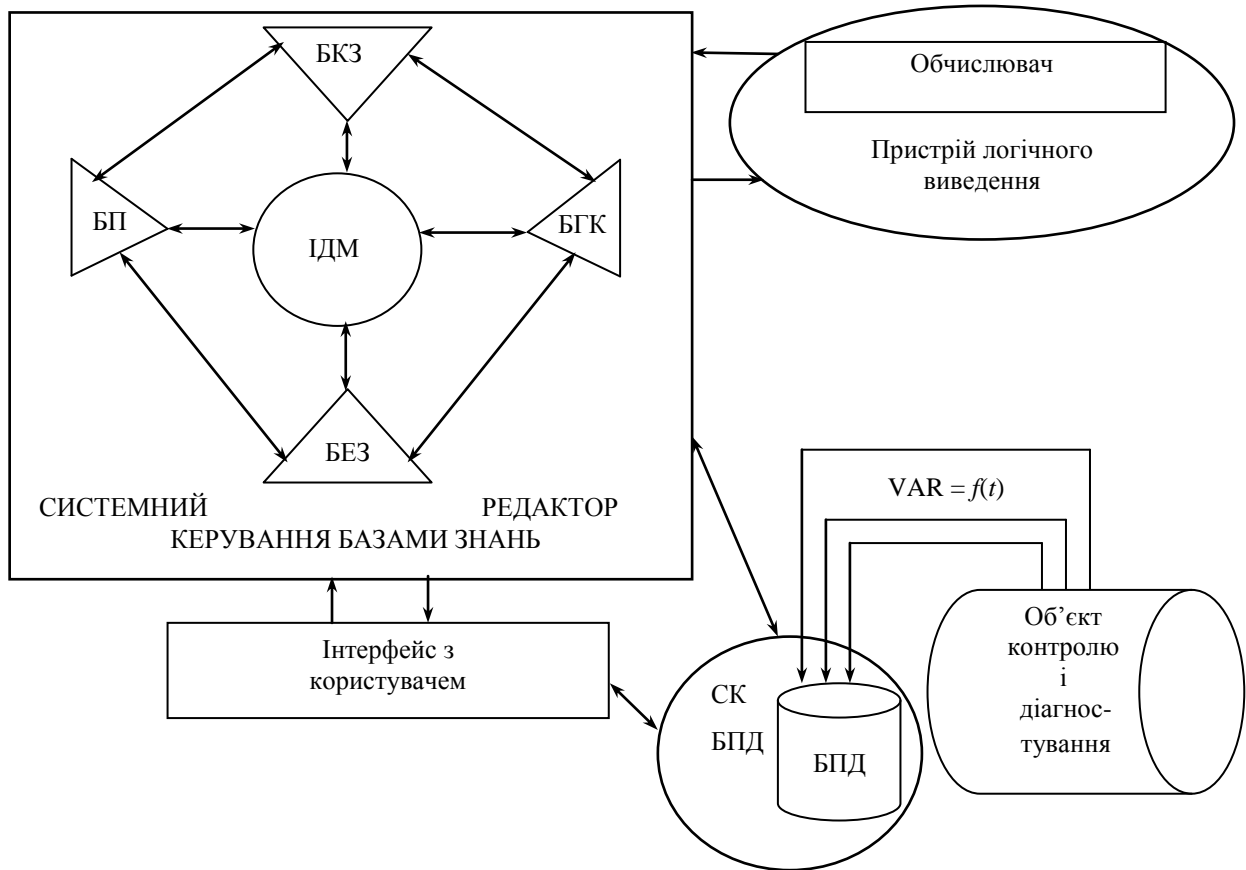


Рис. 1. Концептуальна модель процесу взаємодії гетерогенних баз знань у середовищі динамічної автоматизованої системи діагностування об'єкта АТ

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 зображується у вигляді чітких, нечітких і комбінованих (продукцій).

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 $x_{i1} \& x_{i2} \& \dots \& x_{in}$; Y — відповідна дія у вигляді $y_1 \& y_2 \& \dots \& y_m$.

Нечіткість у БЕЗ можна представити для загального випадку таким 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 розв'язання задачі обчислювачем на аналітичній діагностичній моделі в середовищі АСД ППР (рис. 2) здійснюється за таким запитом:

$$ІДМ(K1) \rightarrow ІДМ(K2) \{ \Sigma \tau \},$$

де ІДМ — аналітична інформативно-діагностична модель робочого процесу типового об'єкта АТ;

$K1, K2$ — комплекс діагностичних параметрів та ознак конструктивних вузлів об'єкта АТ; $\{ \Sigma \tau \}$ — набір логічних операторів.

Процес діагностування складного об'єкта авіаційної техніки (тобто визначення причинно-наслідкових зв'язків) у середовищі БЕЗ АСД ППР являє собою декомпозицію такого виду:

Задача

$$(X) \rightarrow (\text{Підзадача } 1(X_1) \# \dots \# \text{Підзадача } N(X_n)),$$

де X — набір вхідних і вихідних параметрів задачі, що розв'язується; $\#$ — символ переходу від одного блоку БЕЗ до іншого.

Крім того, кожна задача, що розв'язується, може бути декомпонована на ряд цільових підзадач.

У цьому випадку вибір способу розв'язання основної задачі залежить від особливостей розв'язку кожної з підзадач, а параметр, що керує процесом розв'язку цільових підзадач (контроль параметрів і діагностика вузлів складного об'єкта АТ), є властивістю її розв'язку.

Отже, основна задача в БЕЗ перетвориться в послідовність цільових підзадач:

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

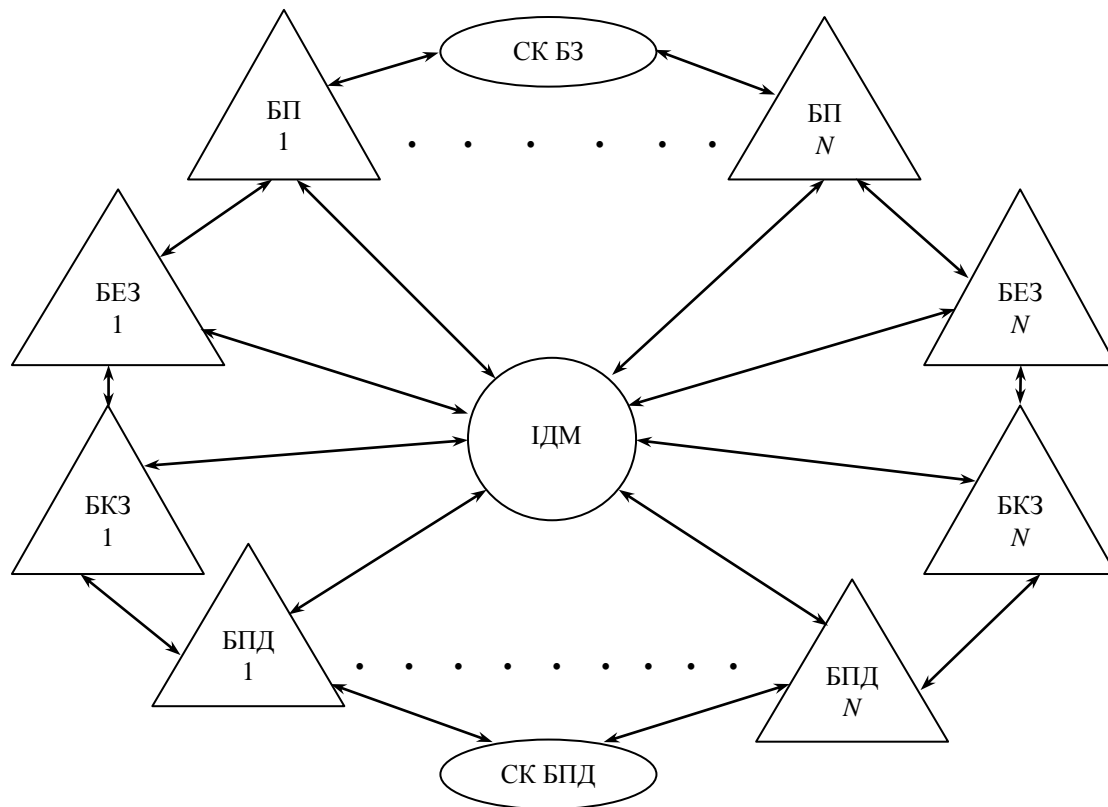


Рис. 2. Схема взаємодії гетерогенних баз знань з аналітичною інформативно-діагностичною моделлю робочого процесу об'єкта діагностування в АСД ППР

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 вигляді формул, таблиць, графіків, нечітких правил, алгоритмів 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 в загальному вигляді може бути задана таким 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 вигляді семантичних (нейронних) мереж і фреймів [3].

Слід зазначити, що процес адаптації аналітичної ІДМ такого складного динамічного об'єкта, як ГТД, у середовищі гібридної динамічної АСД ППР є складною самостійною задачею, успішне розв'язання якої в більшості випадків досягається завдяки досвіду і знанням експерта, а також правильному обліку специфіки функціонування самої автоматизованої системи.

База правил оперування знаннями в середовищі АСД ППР реалізується у вигляді набору генетичних алгоритмів розв'язку, логічних і мережевих переходів, що забезпечують організаційну структуру БЗ (наприклад, ПРИ \langle умова \rangle , ТОДІ \langle дія \rangle , або ДЛЯ \langle умова \rangle , ПОРІВНЯТИ З \langle дія \rangle).

Блок когнітивної графіки може оперувати такими графічними поняттями [3]:

- проект (автономно функціонуюча супідрядна програма), що може за бажанням користувача працювати як автономно, так і в комплексі з іншими графічними поняттями;
- графічний об'єкт — квадрат (найпростіший елемент системного редактора), що дає змогу збирати з окремих понять більш складні;
- Fuzzy — коло (елемент нечітких знань БЕЗ), що дозволяє створювати нечіткі визначення;

▪ зв'язок — типове з'єднання елементів системного редактора в межах його поля;

▪ Meip — блок когнітивної графіки, відповідальний за автоматичний синтез С-програм за зібраною редактором схемою.

Функціонування БЗ забезпечується системою керування базами знань системного редактора у вигляді спеціальної програмної оболонки високого рівня [1]. Вхідною мовою АСД ППР є інтерпретатор системи керування бази поточних даних (СК БПД) (рис. 1), що дає змогу оперувати фреймами і семантичними мережами з їхнім подальшим розширенням елементами нечіткої логіки. 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 гібридної динамічної АСД ППР контролю параметрів і діагностування типового складного об'єкта АТ наведено на рис. 1 та 2. Загальна процедура звертання до ІДМ у системі має такий вигляд: $\langle U \rangle \langle P \rangle \langle S \rangle$, де $\langle U \rangle$ — складова (вузол) об'єкта діагностування в БЗ; $\langle P \rangle$ — поняття (діагностичний параметр або ознака) у БЗ; $\langle S \rangle$ — множина вхідних і вихідних параметрів ІДМ.

Робота ІДМ із кількома БЗ і БПД у АСД ППР (рис. 2) 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 розв'язувати прями, зворотні і змішані задачі.

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

Розділення стадій отримання знань та їх структурування є досить умовним, адже інженер зі знань (наприклад, авіафахівець з експлуатації авіаційних ГТД) практично одночасно з отриманням знань виконує роботу щодо їх структурування й формування поля знань.

Стадія структурування або концептуального аналізу бази знань автоматизованої системи діагностування й підтримки прийняття рішень є однією з найскладніших у циклі розробки такої інтелектуальної системи. Методологія структурування знань наближена до сучасної теорії складних систем, тому що автоматизовані системи мають усі ознаки складності (ієрархія понять, міжелементні зв'язки і т. д.). Головна проблема структурування знань у 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] як методологічний прийом розчленування формально описаної системи на рівні блоків або модулів. На вищих рівнях ієрархії використовуються найменш деталізовані уявлення, що відображають лише найбільш загальні ознаки 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 в тому, що складна задача великої розмірності розбивається на послідовне розв'язання задач малої розмірності. При цьому у зазначеному способі на кожному рівні застосовується свій опис процесу (об'єкта) і його елементів. Елемент i -го рівня є 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: згори $\rightarrow \rightarrow$ униз або знизу \rightarrow вгору. Наприклад, за такою схемою побудовані розрахункові алгоритми аналітичних інформативно-діагностичних моделей робочих процесів проточної частини типових ГТД.

Але всю проектовану базу знань АСД ППР типового об'єкта АТ за таким способом побудувати важко. Тому можна застосовувати об'єктно-структурний спосіб, запропонований в праці [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-догори і індуктивну (висхідну) STR_{bu} (*bottom-up*) з поступовим узагальненням понять і збільшенням ступеня абстрактності опису знизу-догори (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 (S_K), так і для її функціональної структури (S_f).

На рис. 3 проілюстровано застосування дуальної (двовимірної) концепції, адаптованої автором для проектування баз концептуальних та експертних знань (S_K) АСД ППР «ЕКСПЕРТ — об'єкт АТ» типового складного динамічного об'єкта АТ з метою оперативної допомоги авіаційного персоналу під час оцінювання поточного технічного стану екземпляру авіадвигуна в умовах регулярної експлуатації.

пертих знань (S_K) АСД ППР «ЕКСПЕРТ — об'єкт АТ» типового складного динамічного об'єкта АТ з метою оперативної допомоги авіаційного персоналу під час оцінювання поточного технічного стану екземпляру авіадвигуна в умовах регулярної експлуатації.

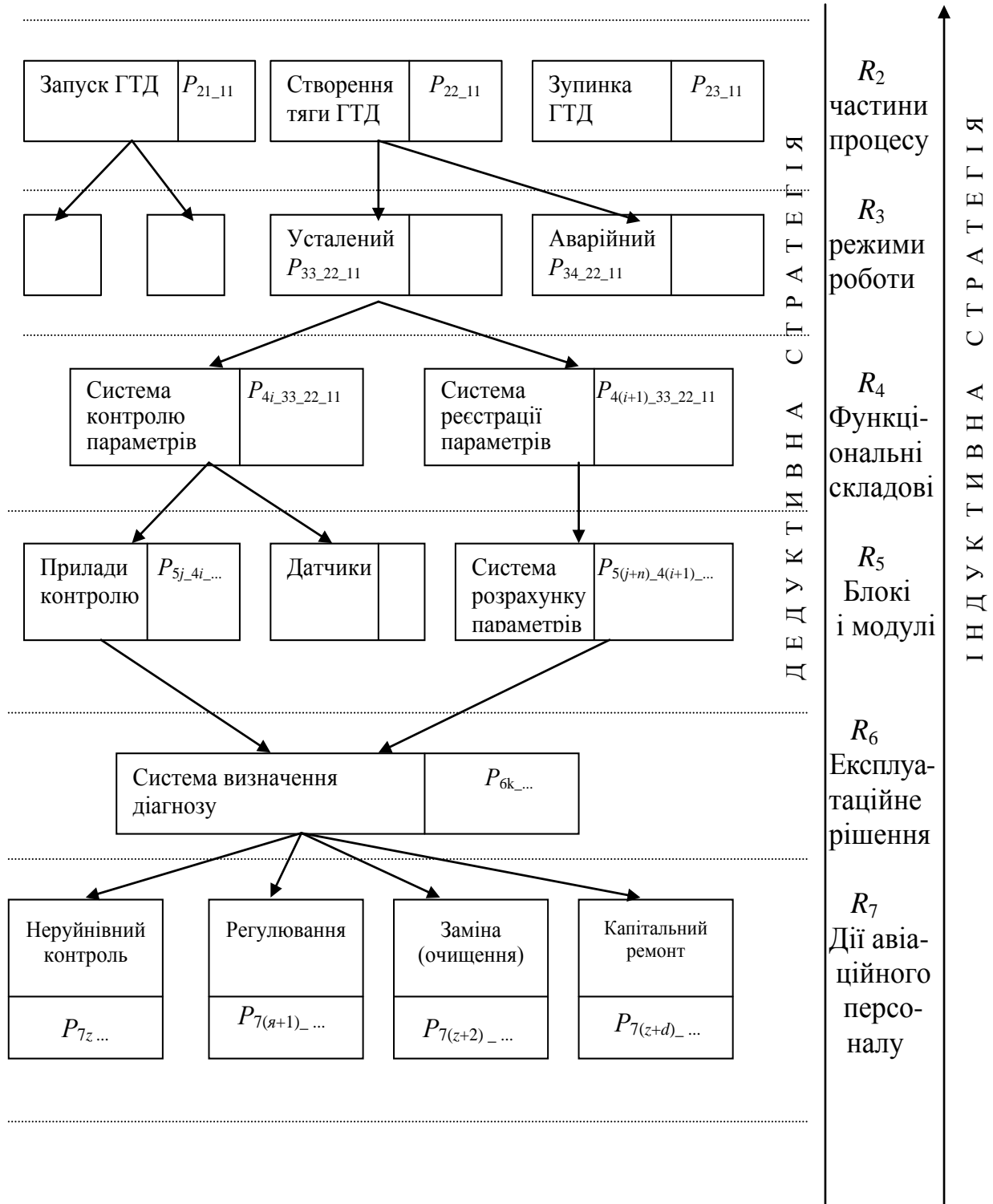


Рис. 3. Застосування дуальної концепції проектування бази знань АСД ППР «ЕКСПЕРТ – об'єкт АТ» на прикладі авіадвигуна

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 дає змогу створити (тривимірну) 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. 4 показано фрагмент застосування стратегії паралельної (горизонтальної) декомпозиції при структуруванні об'ємної бази знань АСД ППР об'єкта АТ.

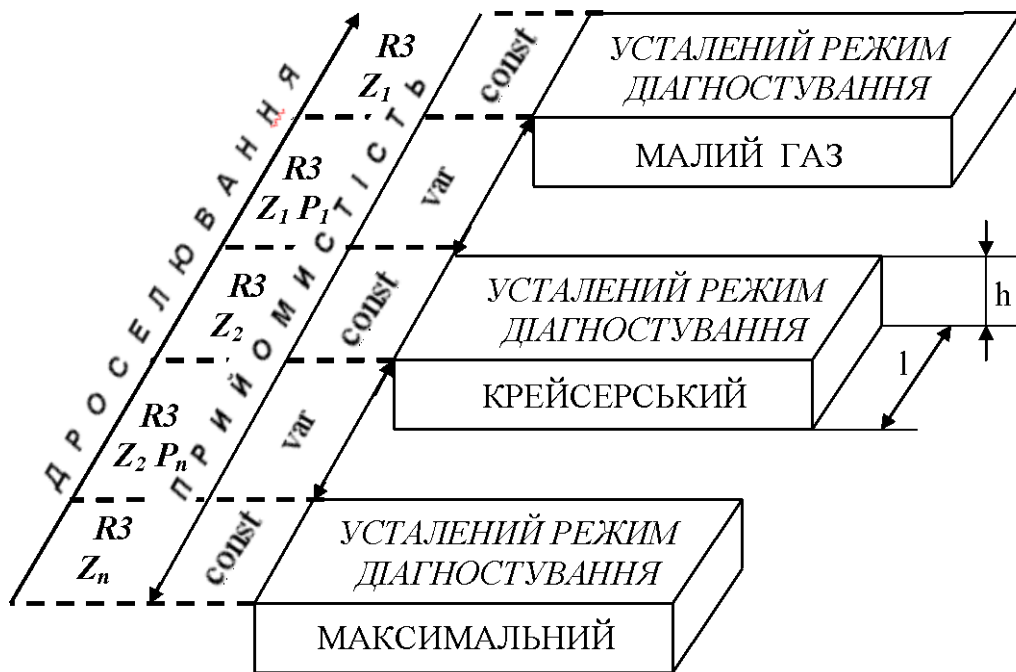


Рис. 4. Фрагмент застосування стратегії паралельної (горизонтальної) декомпозиції STRph при структуруванні бази знань спеціалізованої автоматизованої системи діагностування й підтримки прийняття рішень (на прикладі моделювання перехідних робочих режимів роботи ГТД для одного з рівнів за дуальною концепцією):

R3 — 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 згори-донизу від $n \Rightarrow n + 1$, де n — n -й рівень ієрархії понять об'єкта діагностування з послідовною деталізацією 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 породжується; k_i — кількість концептів, що породжуються на рівні $n + 1$.

Індуктивна стратегія STRbu структурування передбачає переміщення по базі знань АСД ППР

знизу-догори $n \Rightarrow n - 1$ 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 породжуваного концепту; k_i — кількість концептів, що породжуються, на рівні n .

Паралельна стратегія STRph структурування сприяє переміщенню по базі знань АСД ППР в межах будь-якого з її рівнів не лише на його довжину ($n_l \Rightarrow n_{l+1}$), але й на його ширину ($n_z \Rightarrow n_{z+1}$), або навіть товщину ($n_h \Rightarrow n_{h+1}$):

$$STRph : P_{l_{z_i}}^n \Rightarrow P_{l_{z_1}}^n, \dots, P_{l_{z_j}}^n,$$

де n — номер рівня породжуваного концепту; i — номер концепту, що породжує; l_{z_j} — кількість концептів, що породжуються у двовимірному шарі n -го рівня.

Основою для припинення агрегування, дезагрегування та рівневого розширення бази знань АСД ППР є 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.

Сучасні методології структурування складних систем можна об'єднати у два великих класи [1]: а) системний (структурний) аналіз, що ґрунтується на ідеї алгоритмічної декомпозиції, де кожний модуль системи виконує один з важливих етапів загального процесу; б) об'єктний підхід, пов'язаний з декомпозицією і виділенням не процесів, а об'єктів і при цьому кожний об'єкт розглядається як екземпляр визначеного класу.

Як базову парадигму методології структурного аналізу знань і формування поля знань АСД ППР типового об'єкта АТ пропонується застосувати узагальнений об'єктно-структурний підхід (ОСП), який послідовно розроблений від математичного обґрунтування до технології й програмної реалізації в працях [1; 2]. Основні постулати цієї методології структурування бази знань автоматизованої системи зводяться до такого:

1. Систематизація (взаємозв'язок між поняттями предметної області).
2. Абстрагування (виявлення суттєвих характеристик поняття, які відрізняють його від інших).
3. Ієрархія (ранжування на упорядковані системи абстракцій).
4. Типізація (виділення класів понять з частковим успадкуванням властивостей у підкласах).
5. Модульність (розбивання задачі на підзадачі).
6. Наглядність і простота нотації.

Реалізація шостого постулату в автоматизованих системах при формуванні поля знань традиційно є «вузьким» місцем, тому що модель створеної предметної області має бути ясною й лаконічною. Як правило, мовою інженерії знань є діаграми, таблиці, матриці та інші графічні елементи, які сприяють наглядності подан-

ня. Тому в запропонованому підході до мови моделювання бази знань спеціалізованої АСД ППР типового об'єкта АТ передбачається можливість візуалізації процесу структурування, що дає змогу наглядно і компактно відображати об'єкти й відношення предметної області на основі вищезазначених постулатів. Авторами ОСП на його основі розроблено алгоритм об'єктно-структурного аналізу (ОСА) предметної області [1], який використаний для оптимізації упорядкування процедури структурування бази знань АСД ППР «ЕКСПЕРТ — об'єкт АТ», розробці якої присвячене дослідження [3].

Об'єктно-структурний аналіз передбачає розробку і використання матриці ОСА, яка дає можливість усю зібрану інформацію дезагрегувати послідовно за прошарками-стратами (вертикальний аналіз), а потім за рівнями — від рівня проблеми діагностування об'єкта АТ до рівня підзадачі визначення дій авіаційного персоналу (горизонтальний аналіз). Або навпаки — спочатку за рівнями, а потім за стратами (див. рис. 3, 4).

Висновки

Застосовані дедуктивний та індуктивний способи декомпозиції знань, синтез яких утворює дуальну концепцію структуризації бази знань, не дозволяють 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, дає змогу повністю забезпечити формування структури бази знань прикладної АСД ППР типу «ЕКСПЕРТ — об'єкт АТ».

ЛІТЕРАТУРА

1. Гаврилова Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. — СПб. : Питер, 2001. — 384 с.
2. Введение в экспертные системы / под ред. П. Джексона. — М. : Изд. Дом «Вильямс», 2001. — 624 с.
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. — 488 с.

Стаття надійшла до редакції 14.01.13.