

О. ФЕДОРОВИЧ, Л. МАЛЕСЬ

ОНТОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ СТРУКТУРИ ТА ПАРАМЕТРІВ КОМПОНЕНТ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБІВ У ПРОЕКТАХ ЇХ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Предметом роботи є моделі подання структури та параметрів компонент високотехнологічних виробів на основі аналізу технічної документації в прецедентах їх модернізації. **Мета** пропонованого дослідження – підвищити якість процесів модернізації високотехнологічних виробів з допомогою формування онтологічної моделі виробу з інноваційними компонентами з огляду на різноманітність інформаційного забезпечення. У статті вирішуються такі **завдання**: дослідження основних методів і технологій системного подання структури складного виробу; формування моделі структурно-функціональної декомпозиції високотехнологічного виробу; створення онтологічної моделі структури та параметрів високотехнологічного виробу на основі інформації технічної документації. Застосовуються **методи**: системний підхід, функціонально-структурна декомпозиція, теорія множин, побудова онтологій, семантичні моделі. **Досягнуті результати**. Досліджено основні методи системного подання структури складного виробу, що базуються на таких принципах: декомпозиція архітектури складного виробу, стратифікація подання складного виробу, багатоваріантність синтезу компонентної архітектури. Розглянуто основні напрями та переваги застосування 3D-технологій для вирішення завдань проєктування конструкцій у проєктах модернізації компонент високотехнологічних виробів. Запропоновано декомпозицію високотехнологічного виробу на компоненти та часткові параметри з огляду на функціональні, структурні та параметричні характеристики. Сформовано онтологічну модель структури та параметрів високотехнологічного виробу на основі комплексу технічної документації та зважаючи на додаткові різноманітні джерела інформації. Виокремлено інноваційні елементи, опис яких може бути нечітким. **Висновки**. Запропонована онтологічна модель може бути основою для пошуку близьких рішень щодо конструкції інноваційних компонент у базі прецедентів, яка структурована відповідним чином. У разі відсутності близьких рішень проєктування інноваційних компонент може бути здійснено із застосуванням 3D-технологій на основі доповнення нечіткої інформації семантичної моделі.

Ключові слова: проєкти модернізації; високотехнологічні вироби; компоненти; декомпозиція; моделювання конструкцій; технічна документація; структура; параметри; онтологія; семантична мережа.

Вступ

Основним напрямом розвитку високотехнологічного виробництва є проєкти модернізації складної техніки, що дає змогу забезпечити відповідність її функціональних можливостей сучасним вимогам застосування та бути конкурентоспроможною. В сучасних умовах повномасштабного вторгнення також важливим стає ремонт і відновлення пошкодженої складної техніки, зокрема закордонного виробництва.

Сучасний рівень створюваних високотехнологічних виробів (ВТВ) вимагає пошуку ефективних методів аналізу та управління проєктами за їх модернізацією [1–3], які визначаються:

- інноваційністю змісту проєктів;
- багатокомпонентним складом, багаторівневою деталізацією технічної системи;
- значними обсягами проєктної інформації;
- специфікою процесів постачання комплектування для модернізації виробів.

Аналіз результатів виконання проєктів часткової модернізації складної техніки показує, що їх реалізація

супроводжувалася перевищенням запланованих термінів, фінансових ресурсів і, в окремому випадку, недосягненням передбачуваного підвищення або відновлення функціональної якості техніки. Також складним є питання визначення та постачання необхідних комплектів для ремонту та модернізації складної техніки, особливо тоді, коли відновленню підлягає техніка закордонного виробництва.

Тому в статті розглядається актуальне завдання формування моделі структури складного виробу, що підлягає модернізації або відновленню на основі системного та компонентного підходів. Це дасть змогу виділити інноваційний складник високотехнологічних виробів і спланувати заходи з її проєктування та подальшого виготовлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Завдання моделювання та синтезу структури складних виробів у проєктах їх модернізації розглядалися в різних аспектах.

Для моделювання ієрархічної структури складного об'єкта застосовується структурно-функціональний підхід. У цьому разі формується дві ієрархічні моделі – структури та властивостей [4]. Особливістю подання є розкриття механізму взаємодії вказаних моделей. Взаємодія забезпечується з допомогою процесу функціонування, у якому складники структури виконують необхідні перетворення, а результатом функціонування є отримані властивості. Ієрархія конкретних властивостей формує комплект властивостей, який забезпечує реалізацію призначення об'єкта.

Для вирішення завдання формування раціонального варіанта модернізації складного виробу в роботі [5] застосовано методико-алгоритмічний апарат багатокритерійного вибору з метою модернізації бойових тактичних літаків на основі комплексного оцінювання показників військово-технічного рівня, реалізованості, вартості та часу. Виконано завдання визначення компромісного раціонального варіанта з області паретооптимальних. Водночас вироблялось порівняння майбутнього варіанта з "ідеальним" у нормованому критерійному просторі за формулою евклідової метрики.

Принципи інтеграції в проектуванні складних виробів реалізовано в методології структурно-параметричного моделювання, який полягає не тільки в поєднанні етапів життєвого циклу, а й у застосуванні відповідних засобів геометричного моделювання у вигляді належного математичного апарату. Розглянуто основні положення способу зменшення сфери проектних рішень [6]. В автоматизованих системах проектування вдосконалено технології *CALS* для забезпечення зв'язку етапів побудови 3D-моделей об'єкта складної техніки на основі знання-орієнтованих технологій протягом циклу їх створення та обміну інформацією між різними компонентами *CALS* [7].

Проводилися дослідження щодо розроблення методів декомпозиції та класифікації елементів складної системи. Так, у роботі [8] приділено увагу питанням функціональної декомпозиції складної системи. На основі опрацювання потоків даних різної інформаційної значущості виявлено характерні ознаки поведінки системи щодо цілі. У працях [9, 10] подано алгоритми декомпозиції частин складної системи та секвенування її адитивних і субтрактивних ознак за допомогою методів штучного інтелекту та машинного навчання.

Нейронні мережі також використовувалися з метою класифікації об'єктів способом глибокого

контекстно-адаптивного двійкового арифметичного кодування (*DeepSABAC*) як ядро технології кодування та декодування інформації, а також як методи попереднього оброблення параметрів, такі як розрідження, скорочення, розкладання низького рангу, уніфікація, локальне масштабування [11]. У дослідженні [12] запропоновано гібридну модель, що об'єднує теорію приблизних множин з алгоритмами дерев рішень, тим самим вирішуючи вроджені обмеження цих алгоритмів у роботі з невизначеністю в даних. Ця інтеграція має суттєво покращити точність та ефективність бінарної класифікації на основі дерев рішень, роблячи їх більш стійкими до різної вхідної інформації.

Онтологічний підхід до проектування будь-яких класів складних систем дає змогу провести чітку та ієрархічну декомпозицію процесів проектування будь-якої системи заданого призначення. У роботі [13] запропоновано онтологічну модель знань архітектури кібернетичної організаційної системи, що поєднує в собі технологічні, організаційні та проектні концепти.

В останні роки з'явилася низка перспективних розробок щодо використання онтологій у промисловості. Водночас, однак, більшість робіт із розроблення промислових онтологій залишаються у сфері академічних досліджень і не мають значного практичного застосування. Існує набір принципів, запропонованих *Open Biomedical Ontologies (OBO Foundry)*, щоб керувати проектуванням і розробкою *Industrial Ontologies Foundry (IOF)*, яка є аналогом ініціативи *OBO Foundry* для промисловості [14, 15]. У праці [16] уможливується кількісне оцінювання якості концептуалізованих онтологій на основі дерева *NFR* та пов'язаних із ним метрики та показників.

Мета й завдання роботи

З проведеного огляду можна зробити висновки, що перспективними напрямками моделювання структури ВТВ у проектах їх модернізації є системна декомпозиція із застосуванням формалізованих моделей знань предметної галузі. Однак нерозв'язаними питаннями є формування онтологічних моделей для опису та класифікації інноваційних елементів компонентної структури складної техніки.

Отже, метою запропонованого дослідження є підвищення якості процесів модернізації ВТВ шляхом формування онтологічної моделі виробу

з інноваційними компонентами з огляду на різноманітність інформаційного забезпечення. У статті вирішуються такі завдання:

- 1) дослідження основних методів і технологій системного подання структури складного виробу;
- 2) формування моделі декомпозиції ВТВ на основі компонентного підходу;
- 3) створення онтологічної моделі структури ВТВ із виділенням інноваційних компонент.

Матеріали та методи

У процесі створення та модернізації ВТВ широко впроваджуються методи системного аналізу. Як відомо, архітектура складного виробу є множиною ієрархічно пов'язаних між собою підсистем, агрегатів, блоків, вмонтованих в окремі елементи, що описується багаторівневою структурою. У дослідженні таких структур застосовують деякі принципи.

1. *Декомпозиція архітектури складного виробу.* Архітектура складного виробу описується за допомогою ієрархічного багаторівневого подання. Повністю цей процес не формалізований, тому часто використовуються евристичні прийоми для опису структури складного виробу, які ґрунтуються на досвіді та інтуїції розробників. Нині існують інструменти моделювання, що дають змогу будувати ієрархічні структури та досліджувати зв'язки компонентів.

Для класифікації компонентів та оцінювання ступеня складності їх подальшої композиції з іноваційними елементами необхідно проводити декомпозицію, вибір компонентів із множини можливих, оцінювання та оптимізацію структури складної системи, до того ж на багатокритеріальній основі [5]. Отже, з огляду на багаторівневість декомпозиції, багатозв'язність окремих компонентів для кожної з підсистем необхідне можливе формування критеріїв, що дасть змогу зробити багатокритеріальний вибір оптимального рішення з модернізації складної техніки.

2. *Стратифікація подання складного виробу.* Стратифікація передбачає подання ВТВ як складної системи в багатьох аспектах. Застосовуються такі страти подання: цільова, функціональна, математична, інформаційна, алгоритмічна страта та страти технічних і програмних засобів. Опис ВТВ на кожній страті зазвичай поданий у технічній документації на створення або експлуатацію складної системи.

Значимо, що для розв'язання задачі компонентного синтезу складного виробу важливими є функціональна страта й технічна. Саме на цій страті розглядаються функціональні та технічні вимоги (кількісні характеристики) до певних, зокрема інноваційних, компонент ВТВ. За цими вимогами здійснюється пошук окремих компонентів для їх модернізації.

3. *Багатоваріантність синтезу компонентної архітектури.* У процесі модифікації складного виробу проєктувальники стикаються з множиною варіантів. Що більше розглядається варіантів, то вища ймовірність отримання оптимального (раціонального) рішення з мінімальним ризиком комплексування [3]. Вибір найкращого варіанта (варіантів) із множини можливих здійснюється на основі методів теорії прецедентів для досягнення максимальної схожості компонент. У цьому разі оцінка схожості може бути отримана із застосуванням теорії нечітких множин [17]. Перспективним напрямом є використання нейронних мереж для оцінювання схожості за значною кількістю ознак.

Сучасні технології в машинобудуванні зумовили застосування 3D-друку в розробленні нових деталей і механізмів, а також і для вирішення таких завдань:

- модернізація наявних систем і окремих елементів;
 - ремонт і заміна деталей, що вийшли з ладу.
- У машинобудівній галузі використання 3D-друку має такі переваги:
- можливість виготовлення інноваційних, геометрично унікальних деталей;
 - скорочення термінів виробництва;
 - зменшення помилок шляхом усунення людського фактора;
 - поліпшення технічних параметрів виробів: зниження ваги, підвищення точності та міцності;
 - можливість поліпшувати фізико-механічні властивості деталей.

Використання 3D-друку в модернізації та заміні окремих елементів ВТВ допомагає вирішувати проєктні завдання дешевше та швидше. Наприклад, в *UTC Aerospace* виготовили нову модернізовану версію сопла витяжної системи зі спеціального міцного та жаростійкого інженерного пластику [18]. Це нововведення не тільки поліпшило якість деталі, але й значно скоротило терміни виробництва та собівартість.

У військовій та оборонній промисловості застосовують технології 3D-друку для покращення продуктивності та безпеки завдяки таким перевагам:

- створення нестандартних деталей на вимогу, у ситуаціях, коли стандартні запчастини недоступні;
- виготовлення легких і високоміцних деталей, що зменшує загальну вагу обладнання та підвищує його надійність;
- вирішення логістичних проблем завдяки уникненню довгих ланцюгів постачання, що підвищує операційну гнучкість виробництва.

Таким чином розширені можливості 3D-друку можуть підвищити ефективність проєктів модернізації та відновлення ВТВ на виробничих підприємствах як загального машинобудування, так і військової та оборонної галузей.

Зазвичай вихідними показниками для створення нових виробів є технічне завдання, яке надає замовник. Але необхідно зазначити, що на першому етапі 3D-моделювання інноваційних виробів збирається інформація різного типу: ескізи, креслення, фотографії та відеоролики, малюнки, часто навіть використовують готовий зразок виробу-аналога (або пошкоджений зразок деталі в проєктах відновлення техніки). На основі отриманої інформації створюється тривимірний модель у 3D-редакторі або CAD-програмі.

Якість друкованої деталі суттєво залежить від її цифрової моделі, що використовується для друку. Тому дуже важливу роль відіграє якість

моделювання тривимірної деталі перед друком. Незважаючи на наявність високотехнологічних CAD/CAM/CAE-систем, проблема первісного визначення структурних елементів моделей інноваційних виробів наразі залишається не повністю вирішеною. Це зумовлено зростанням складності моделей ВТВ.

Результати дослідження

Відповідно до принципу стратифікованого уявлення складної системи запропоновано декомпозицію ВТВ на компоненти та часткові параметри з огляду на функціональні, структурні та параметричні характеристики. Унаслідок відображено властивості компонентів, що модифікуються. Це дає змогу згодом шукати релевантні прецеденти (вироби-аналоги) на низьких рівнях декомпозиції та знаходити прецеденти з високим рівнем схожості інноваційних компонентів. Першим рівнем декомпозиції є розбиття складного виробу на багатофункціональні блоки (модулі). Потім здійснюється декомпозиція на окремі структурні елементи конструкції виробу. На нижньому рівні виконується розбиття на компоненти, що визначаються інноваційними характеристиками та мають певні геометричні параметри.

На рис. 1 зображено структурно-функціональне подання ВТВ у вигляді декомпозиції на множини підсистем і елементів. Кожній структурній одиниці відповідає функція, яку вона виконує в системі.

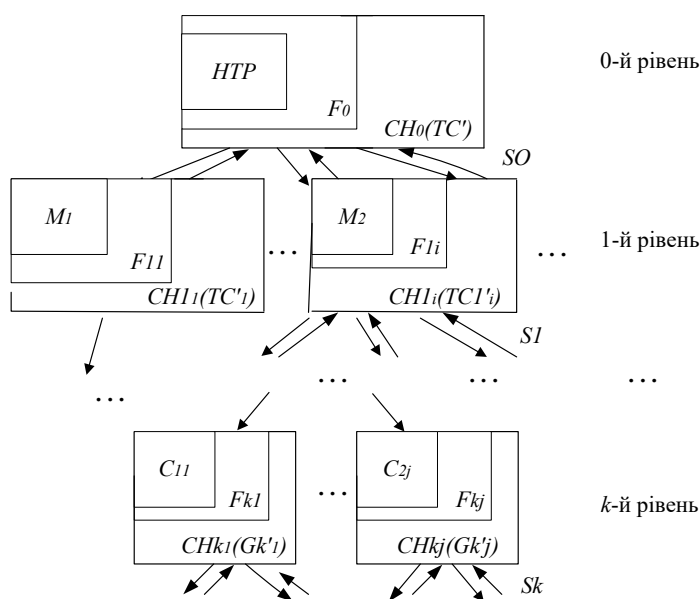


Рис. 1. Структурно-функціональне подання ВТВ

На рисунку прийняті такі позначки: *НТР* – високотехнологічний виріб (*high-tech product*); M_i – i -й модуль (комплекс, підсистема); C_j – j -й компонент (елементи нижніх рівнів структури); F_0, F_{1i}, F_{kj} – функціональне призначення відповідних елементів структури ВТВ; CH_0, CH_{1i}, CH_{kj} – характеристики відповідних елементів структури, зокрема технічні; для компонент нижнього рівня декомпозиції (деталі) вказано $G_{k'1}, G_{k'j}$ – геометричні параметри. Унаслідок аналізу взаємозв'язків характеристик (зокрема геометричних параметрів) елементів нижнього рівня можуть бути змінені характеристики елемента, що породжує. У цьому разі використовується S_k – оператор комплексуювання характеристик верхнього рівня на основі множини характеристик елементів нижнього рівня:

$$CH_{k'} \rightarrow S_k \{CH_{k-1}\}.$$

У зв'язку з інноваційністю ВТВ, що модифікуються, та відповідною складністю моделювання, суттєво зростає обсяг та складність геометричних моделей конструкції, систем та обладнання для виробництва й модернізації ВТВ. Реальні характеристики, утворені після комплексуювання, не завжди збігаються із запланованими. Виникає ризик комплексуювання, що впливає на можливість виконання заданих функцій елементами ВТВ.

У сучасних *PLM*-системах реалізовано послідовну деталізацію під час проектування ВТВ у *CAD/CAM/CAE*-системах, що потребує потім системного компонентного синтезу [19]. Декомпозиція та синтез інформації забезпечуються універсальними алгоритмами, які реалізовані в системі проектування та спираються на інформацію у базах даних. Подібний підхід не дає змогу застосувати стандартні процедури для інноваційних компонентів ВТВ.

Використання онтологічного підходу полегшує процес створення моделі складного виробу та допомагає узгодити паралельну й послідовну роботу фахівців над проектом його модернізації.

Основні перевагами застосування онтології виробу, що модернізується:

1) ефективне компактне подання системи знань предметної галузі на базі сучасних інформаційних технологій, що дає змогу описати концепцію модернізації та специфікації ВТВ;

2) пошук інформації в системі знань отриманої онтології, що допомагає використовувати інформацію щодо прецедентних рішень;

3) розвиток системи та отримання нових знань або впорядкування наявних, перевірка їх несуперечності, корекція ієрархічної структури ВТВ.

Розроблення геометричної моделі компонент ВТВ із використанням інформаційних технологій є процесом [20], що містить кілька етапів:

– складання технічного завдання та технічної пропозиції;

– попереднє (ескізне) проектування – формування моделі майстер-геометрії ВТВ та моделі розподілу об'єктів;

– робоче проектування – формування моделі повного визначення виробу.

Документація, створювана на ранніх стадіях розроблення або модифікації виробів, містить інформацію, на основі якої можна сформувати базу множини аналогічних розробок. Ескізний проєкт, порівняно з технічним, більш повно подає конструкцію виробу. Детальна інформація, зафіксована за всіма елементами конструкції, міститься тільки в робочій документації. Як технічне завдання, так і ескізний проєкт містять текстову, графічну та кількісну (технічні характеристики) інформацію [21]. Крім того, більшість інформації в документах є взаємозв'язаною: одна інформація уточнює іншу або є її частиною. Тому для структуризації інформації про складні вироби, що модифікуються, ефективним є застосування онтологічних моделей у вигляді семантичних мереж.

Проектування онтології передбачає первинне визначення її предметної галузі, термінів і класів, масштабів і меж, організацію ієрархії термінів, формування атрибутів і термінів властивостей, їх значень. Побудована онтологічна модель максимально повно й достовірно відтворить ключові аспекти розглянутої предметної галузі – об'єкти функціональної, структурної та параметричної декомпозиції складного виробу, використовуючи стандартні елементи метамоделей: класи, атрибути, відношення тощо.

На формальному рівні онтологія – це система, що складається з набору понять і тверджень про ці поняття, на основі яких можна будувати класи, об'єкти, відношення, функції та теорії. Моделі онтології містять певні концепти (поняття, класи), властивості концептів (атрибути, ролі), відношення між концептами (залежності, функції) та додаткові обмеження, що визначаються аксіомами.

Онтологічні системи побудовані на основі таких принципів:

- формалізація – опис об'єктивних елементів предметної галузі в єдиних, чітко визначених зразках (термінах, моделях тощо);

- використання обмеженої кількості базових термінів (сутностей), на основі яких будуються всі інші поняття;

- внутрішня повнота й логічна несуперечність.

Формальна модель онтології – це упорядкована трійка кінцевих множин

$$O = \langle T, R, F \rangle ,$$

де T – терміни предметної галузі, яку описує онтологія O ; R – відношення між термінами заданої предметної галузі; F – функції інтерпретації, задані на термінах та/або відношеннях онтології O .

Моделі онтологій класифікуються таким чином:

- прості – мають лише концепти;

- на основі фреймів – мають концепти та властивості;

- на основі логік – мають концепти, властивості та відношення.

Відношення є типом взаємодії між концептами предметної галузі. Відношення, які доцільно використовувати в процесі створення онтології, менш різноманітні, ніж терміни, і, як правило, не специфічні для конкретної предметної галузі ("частина-ціле", "є підкласом", "впливає", "схоже" тощо).

Для формалізованого опису об'єктів розроблення вихідна інформація подається як багаторівнева фреймова структура, абстрактна модель предметної галузі – як організована сукупність множини понять, а конкретна модель ситуації – як сукупність взаємозалежних екземплярів цих понять.

Загальний принцип уявлення вихідного об'єкта опису полягає в тому, що він складається з множини елементів. Для подання об'єкта опису необхідно:

- визначити об'єкти понять;
- описати властивості об'єктів понять;
- описати елементи об'єктів.

Визначення об'єктів понять потрібне, коли в об'єкті опису подано два або більше однотипних понять (наприклад, однакові деталі). Якщо потрібно схарактеризувати об'єкти понять, то їм вказуються значення атрибутів.

Кожен елемент можна описати у вигляді об'єкта, що складається з центрального поняття, контексту та другорядних понять.

Склад фреймового опису вихідного об'єкта виглядає так:

об'єкт:

група-елементів |

оголошення-понять група-елементів |

оголошення-понять властивості-понять група-елементів.

Множина елементів описується так:

елемент:

центральне-поняття |

центральне-поняття контекст |

центральне-поняття контекст другорядне-поняття.

У ролі поняття може бути як узагальнене, так і конкретне поняття з предметної галузі:

поняття:

об'єкт-поняття |

клас-поняття.

Ідентифікатор є засобом іменування понять:

ідентифікатор:

літера |

ідентифікатор |

ідентифікатор цифра.

Секція властивостей визначає атрибути понять, оголошених раніше:

властивості-понять:

група-атрибутів:

атрибут |

група-атрибутів атрибут

атрибут:

об'єкт-поняття |

ім'я-атрибути |

значення-атрибути

ідентифікатор

значення-атрибути:

літера | цифра | символ

значення-атрибути буква |

значення-атрибут цифра |

значення-атрибут символ.

Для побудови семантичної мережі необхідно опрацювати поданий у вигляді тексту (з чисельними значеннями) опис документа та класифікувати елементи за категоріями понять.

Виявлення понять для опису об'єкта починається з виділення центрального поняття, потім понять, що відображають їх асоціації, та другорядних понять. Отримавши перелік центральних понять, потрібно перейти до пошуку зв'язків отриманих понять з іншими поняттями. Знаючи про наявність таких

зв'язків і діючи подібно до пошуку центральних понять, можна виявити контекст цих понять. Отже, розглядаючи уявлення предметної галузі та визначивши центральне поняття предметної галузі та його взаємозв'язок з іншими елементами моделі, можна класифікувати отримані зв'язки за відповідними категоріями.

Отриманий таким чином опис об'єкта розроблення / модифікації складатиметься з множини елементів, що описують загальний стан предметної галузі без властивостей понять, що відтворюють сутності та відношення. Цього опису вже буде достатньо для пошуку описів аналогічних розробок, схожих за структурою (або геометрією). Отримавши значення атрибутів для понять предметної галузі, результати пошуку можна наблизити до найбільш відповідного результату. Для цього необхідно провести пошук кандидатів у поняття.

Під час пошуку кандидатів у поняття можна керуватися класичним способом, тобто розглядати стандартні категорії об'єктів та намагатися виділити з отриманого опису поняття, які могли б належати цим категоріям. Для цього можна скористатися описами груп категорій і самих категорій.

Описуючи об'єкт S , отримуємо дві множини кандидатів: SE – множину понять, що є сутностями, і SR – множину понять, що виражають відношення між іншими поняттями.

Першим кроком є виділення кандидатів із множини центральних понять – SC . Потім пошук центральних понять здійснюється серед інших елементів множини кандидатів SE . Для виділення центральних понять необхідно використовувати такі рекомендації:

- центральне поняття узагальнює його складники;
- центральне поняття розташовано на вищому рівні ієрархічної структури;
- відокремлене центральне поняття може не мати зв'язків із іншими поняттями предметної галузі, але бути невід'ємною частиною опису ситуації. У разі вилучення цього поняття опис втрачає повноту.

Наступним кроком буде виділення отриманих кандидатів у центральні поняття, а потім – виділення контексту. Для цього спочатку з множини кандидатів SE вилучаються елементи множини центральних понять SC , унаслідок чого отримаємо множини асоціацій (відношень і другорядних понять):

$$SA = SE \setminus SC .$$

Завдання полягає у виділенні підмножини відношень із множини асоціацій:

$$SR \subset SA .$$

Асоціація центрального поняття з іншими поняттями може виражати такі типи активних зв'язків між ними:

- залежність;
- підпорядкованість;
- відношення агрегування ("ціле – частина").

Отже, керуючись списком типів активних і додаткових зв'язків, отримаємо елементи множини відношень SR . Кожен із елементів множини відношень R_{c_i} буде пов'язаний із певним центральним поняттям c_i , формуючи множину описів елементів

$$s_i = \langle c_i, R_{c_i} \rangle, R_{c_i} \in SR \quad c_i \in SC .$$

На цьому етапі отримані описи елементів поки не є повними, оскільки елементи множини SR ще не поставлені у відповідність до другорядних понять. Другорядними поняттями можуть бути будь-які елементи множини кандидатів SE , незалежно від того, чи потрапили вони в множину центральних понять SC , множину відношень SR або в жодне з них. Другорядними є поняття, куди посилаються асоціації. В описі компонент ВТВ це можуть бути їх властивості.

Отже, для побудови онтологічної моделі ВТВ на основі документів із комплексу технічної документації та зважаючи на додаткові джерела інформації необхідно виконати такі дії:

- проаналізувати зміст документа з метою виділення основних елементів семантичної мережі;
- визначити види елементів, типи їх можливих значень;
- сформувати структуру – виділити рівні ієрархії елементів, утворити зв'язки, вказати їх спрямованість;
- визначити види об'єктів – елементів семантичної мережі;
- визначити семантичні типи вузлів, вказати їх атрибути;
- вказати види зв'язків (їх атрибути).

Зазначимо, якщо для створення моделі майстер-геометрії компонента ВТВ використовується різноманітна інформація, наприклад зображення або документація, що не є повною або не відповідає стандартним вимогам, то деякі атрибути можуть бути вказані нечітко – лінгвістичними чи інтервальними кількісними значеннями. Відповідна властивість має бути відтворена в онтологічній моделі. Наприклад, для відображення інтервальних значень у редакторі

онтологій *Protégé* можна використовувати атрибути із значеннями "максимальне" та "мінімальне" [22].

Як було зазначено вище, геометричні та технічні параметри складного виробу відтворюються в ескізному проекті. Сформуємо опис об'єктів (елементів) ескізного проекту із зазначенням

їх властивостей (табл. 1) та умовних позначок елементів семантичної мережі.

На основі аналізу елементів мережі та їх взаємозв'язків розроблено ієрархічну структуру онтології компонента ВТВ, що зображена на рис. 2.

Таблиця 1. Елементи онтології ескізного проекту

Документи	Розділи	Вид елемента	Тип значення
Кресленики загального вигляду (O1)	Зображення виробу (O1.1)	одиночний	рисунок
	Найменування та позначки складників виробу (O1.2)	група елементів з атрибутами (O1.2.a)	текстові та символічні
	Розміри та інші показники, що наносяться на зображення (O1.3)	група елементів	числові та символічні (можливо текстові)
	Схема (O1.4)	одиночний	рисунок
	Технічні характеристики виробу (O1.5)	група елементів з атрибутами (O1.5.a)	текстові та числові
Відомість (O2)		група елементів	текстові
Пояснювальна записка (O3)	Призначення та сфера застосування виробу, що розробляється (O3.1)	одиночний	текстовий
	Технічні вимоги (O3.2)	група елементів з атрибутами (O3.2.a)	текстові (можливо числові)
	Опис конструкції (O3.3)	одиночний	текстовий
	Розрахунки працездатності та надійності конструкції (O3.4)	група елементів з атрибутами (O3.4.a)	числові та текстові
	Рівень стандартизації та уніфікації (O3.5)	група елементів	текстові та числові

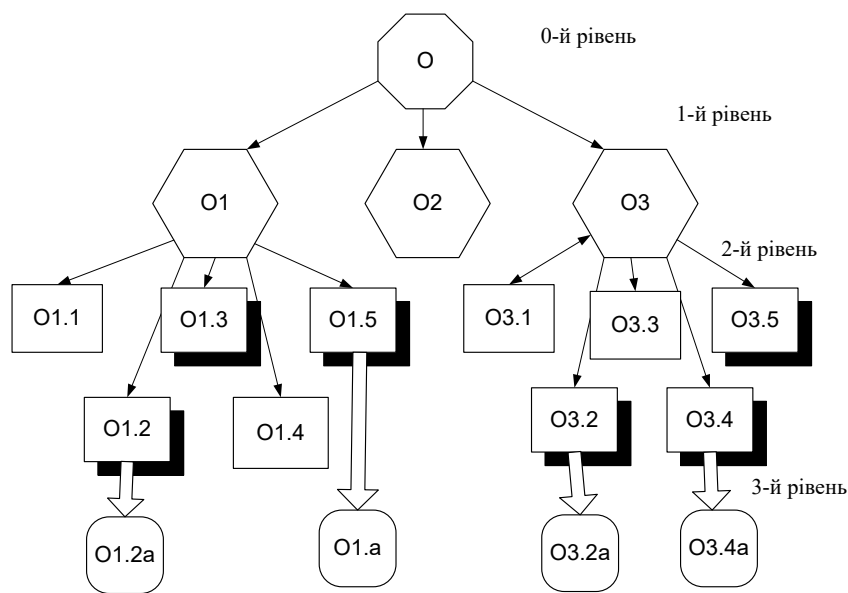


Рис. 2. Ієрархічна структура онтології компонента ВТВ

Для розроблення онтологічної моделі опису об'єктів КВТВ необхідно визначити категорії понять та види зв'язків [23].

Вузли та зв'язки мають набір таких основних атрибутів:

- *ObjectType* – вид об'єкта, що відповідає вузлу;
- *SemanticType* – семантичний розряд референта

вузла;

- *Name* – рядок тексту, що відповідає вузлу;
- *Relation* – тип синтактико-семантичного зв'язку між вузлами.

У запропонованій моделі виокремлено такі види об'єктів:

- центральні поняття (кресленик загального вигляду, відомість, пояснювальна записка)

ObectType = "Centr"[O1, O2, O3];

– контекст (зображення виробу, схема, призначення та сфера застосування, опис конструкції)

$ObectType = "Context"[O1.1, O1.4, O3.1, O3.3];$

– група понять (найменування та позначки складників, розміри, технічні характеристики, розрахунки надійності, рівень стандартизації та відповідні значення)

$ObectType = "Group"[O1.2, O1.3, O1.5, O3.1, O3.4, O3.5].$

В описі елементів були введені такі семантичні типи (*SemanticType*):

1) найменування (*Name*) – ці елементи є текстовими, тобто суто інформаційними характеристиками об'єкта модифікації;

2) властивість (*Qva*) – ці елементи є характеризуючими, вони описують властивості об'єкта (наприклад, окремі елементи технічних вимог). Призначення та технічні вимоги є основними елементами пошуку аналогічних інноваційних компонент;

3) число (*Num*), стан (*State*) – значення окремих технічних характеристик найчастіше є числовими та текстовими значеннями, що декомпозиуються. Саме числові значення можуть бути нечіткими, тобто задані у вигляді інтервалів; це буде окремий тип (*NumR*);

4) предмет (*Item*) – описують елементи об'єкта, що модифікується, також зазвичай не декомпозиуються.

Визначимо типи зв'язків, що використовуються для побудови семантичної мережі (*Relation*).

1. Атрибут (*Atr*) – найчастіше присутній у семантичної мережі тип зв'язку. У цьому разі об'єкт нижнього рівня ієрархії є атрибутом (уточнювальним поняттям, що розкриває сутність) об'єкта верхнього рівня. Для пошуку аналогічних компонент більш суттєвими є атрибути, а не самі поняття.

2. Залежність (*Corr*) – виражає залежність між об'єктами. Найчастіше цей зв'язок виникає між об'єктами одного рівня ієрархії та є двоспрямованим. У цьому разі залежність може бути явно виражена лише складниками цих об'єктів. Аналіз зв'язків залежності в мережі дає змогу визначити несуперечність мережі, оптимізувати (мінімізувати) її вміст шляхом вилучення повторюваної (сильно корельованої) інформації.

3. Агрегування (*Agr*) – виражає агрегування кількох елементів нижнього рівня одним елементом верхнього рівня або навпаки – декомпозицію одного елемента верхнього рівня кілька однорідних елементів нижнього рівня.

До наведених типів можна ще додати уточнювальні властивості зв'язків, що характеризують логічні відносини між елементами. У редакторі онтологій *Protégé* існують певні типи відносин (*Object Properties*) [22].

1. Функціональні (*Func*). Якщо властивість є функціональною, то для одного екземпляра може існувати не більше ніж один екземпляр, що має відношення до першого через цю властивість.

2. Обернено-функціональні (*InvFunc*). Якщо властивість є обернено-функціональною, то ця властивість є оберненою до функціональної властивості.

3. Транзитивні (*Trans*). Якщо властивість є транзитивною, то є умова транзитивності: якщо екземпляр *a* пов'язаний з *b*, а *b* пов'язаний з *c*, то можемо зробити висновок, що *a* пов'язаний з *c* через транзитивну властивість.

4. Симетричні (*Symm*). Якщо властивість *x* є симетричною та екземпляр *a* пов'язаний з *b* через таку властивість, то можемо зробити висновок, що *b* також пов'язаний з *a* через властивість *x*.

5. Асиметричні (*Asymm*). Якщо властивість *x* є асиметричною та екземпляр *a* пов'язаний з *b* через таку властивість, то *b* не може бути пов'язаний з *a* через властивість *x*.

6. Рефлексивні (*Ref*). Властивість *x* є рефлексивною, якщо екземпляр *a* пов'язаний сам із собою.

7. Іррефлексивні (*IrRef*). Якщо властивість *x* є іррефлексивною, то вона пов'язує екземпляр *a* і *b* через таку властивість, проте екземпляри *a* та *b* обов'язково мають бути різними.

На рис. 3 подана семантична мережа опису основних об'єктів ескізного проекту, яка відповідає структурі онтологічної моделі. Зазначимо, що ієрархічна деревоподібна модель на рис. 2 доповнена горизонтальними та міжрівневими зв'язками, що роблять структуру мережною. Вказані зв'язки дають змогу надалі виконати структурно-параметричний синтез структури ВТВ з інноваційними компонентами з огляду на ризик комплексування. На рис. 3 сірим кольором позначено елементи, семантичні типи яких можуть бути нечіткими (подані лінгвістичними або інтервальними значеннями).

Пошук аналогічних розробок здійснюється з використанням окремих (найбільш характерних або інноваційних) об'єктів мережі. У цьому описі аналогі також мають бути структуровані – у них виокремлюються елементи, що відповідають елементам семантичної мережі технічної документації на модернізацію ВТВ, а потім виконується порівняння.

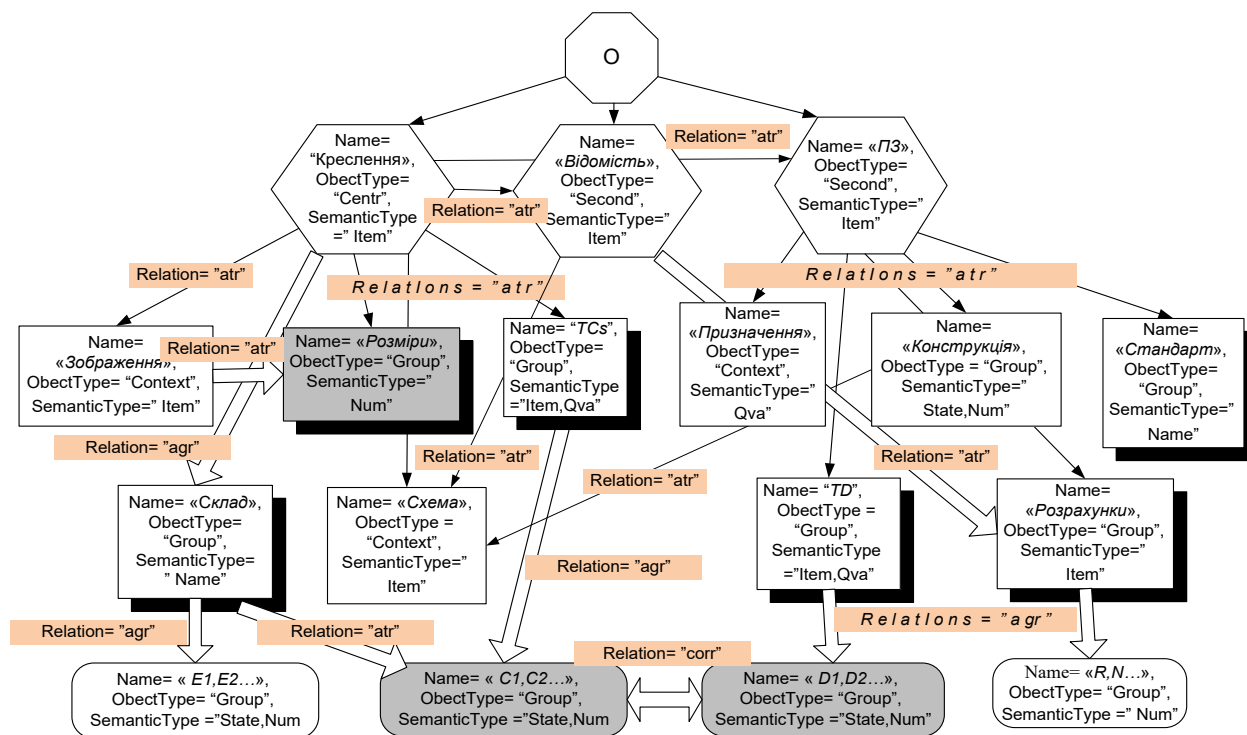


Рис. 3. Семантична мережа опису основних об'єктів ескізного проекту

Висновки

У статті поставлено та виконано завдання подання структури та параметрів компонент високотехнологічних виробів на основі аналізу технічної документації в проектах їх модернізації.

Досліджено основні методи системного подання структури складного виробу, що ґрунтуються на таких принципах: декомпозиція архітектури складного виробу, стратифікація подання складного виробу, багатоваріантність синтезу компонентної архітектури. Розглянуто основні напрями та переваги застосування 3D-технологій для вирішення завдань проектування конструкцій у проектах модернізації компонент високотехнологічних виробів. Запропоновано декомпозицію високотехнологічного виробу на компоненти та часткові параметри з огляду на функціональні, структурні та параметричні характеристики. Сформовано ієрархічну деревоподібну онтологічну модель подання високотехнологічного виробу на основі документів із комплексу технічної документації та зважаючи на додаткові різномірні джерела

інформації. На її основі створено семантичну мережу опису основних об'єктів компонента ВТВ на прикладі ескізного проекту. Виокремлено інноваційні елементи, опис яких може бути нечітким.

Запропонована онтологічна модель може бути основою для пошуку близьких (аналогічних) рішень щодо конструкції іноваційних компонент у базі прецедентів. У разі відсутності близьких рішень проектування іноваційних компонент може бути здійснено із застосуванням 3D-технологій на основі доповнення нечіткої інформації моделі.

Отже, науковою новизною цього дослідження є розроблення онтологічної моделі іноваційних компонент високотехнологічного виробу, яка, на відміну від наявних, сформована з інформації різномірних джерел у вигляді семантичної мережі з нечіткими елементами, що дає змогу підвищити ефективність пошуку аналогічних розробок.

Напрямом подальших досліджень є створення методу оцінювання близькості аналогічних іноваційних розробок з огляду на нечіткі елементи опису параметрів компонент ВТВ.

Список літератури

1. Федорович О. Є., Прончаков Ю. Л. Системне моделювання стратегічних цілей підприємства, що розвивається в умовах обмежених можливостей. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. 2020. № 2. С. 53–60. DOI: 10.32620/aktt.2020.2.08

2. Lindgren M., Bandhold H. Scenario Planning: *The link between future and strategy*. Palgrave Macmillan UK, 2002. 180 p. DOI: 10.1057/9780230511620
3. Федорович О. Є., Яшина О. С., Белецький І. В. Компонентне проектування аерокосмічної техніки. Харків: Національний аерокосмічний університет «ХАІ». 2012. 180 с.
4. Узунов О. В. Системне представлення складних технічних об'єктів в задачах аналізу та синтезу. *Вісник Національного технічного університету України Київський політехнічний інститут. Серія: Машинобудування*. 2016. № 1. С. 126–132. DOI: 10.20535/2305-9001.2016.76.68755
5. Артюшин Л., Кононов О., Єрко В. Визначення результуючої множини варіантів при багатоеритерійному виборі складу бортового обладнання бойових літаків для їх модернізації. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. 2021. № 17 (24). С. 20–26. DOI: 10.54858/dndia.2021-17-3
6. Яблонський П. М. Деякі питання узагальнення засобів геометричного моделювання для проектування технічних об'єктів. *Сучасні проблеми моделювання*. 2019. № 13. С. 192–198. URL: <http://magazine.mdpu.org.ua/index.php/spm/article/view/2662/3179>
7. Konotop D. I., Zinchenko V. P. 3D-models design concept of complex technical objects using knowledge-based technology. *Механіка гіроскопічних систем*. Вип. 34. 2017. С. 5–13. DOI: 10.20535/0203-3771342017130222
8. Сікора Л.С., Лиса Н.К., Міюшкович Ю.Г., Марцишин Р.С. та ін. Інформаційні технології ідентифікації структури ієрархічних систем для підтримки рішень в конфліктних ситуаціях. *Комп'ютерні технології друкарства*. 2020. № 2 (44). С. 8–38.
9. Xiao X., Joshi S. Decomposition and sequencing for a 5-axis hybrid manufacturing process. *International Manufacturing Science and Engineering Conference*. American Society of Mechanical Engineers, 2020. Vol. 84256. DOI: 10.1115/MSEC2020-8385
10. Abdulsamad H., Peters J. Hierarchical decomposition of nonlinear dynamics and control for system identification and policy distillation. *Proceedings of the 2nd Conference on Learning for Dynamics and Control*. In: *Proceedings of Machine Learning Research*. 2020. Vol. 120. P. 904-914. URL: <https://proceedings.mlr.press/v120/abdulsamad20a.html>
11. Kirchhoffer H. et al. Overview of the neural network compression and representation (NNR) standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. 2021. Vol. 32. No. 5. P. 3203–3216. DOI:10.1109/TCSVT.2021.3095970
12. Чернишов Д., Ситніков Д. Бінарна класифікація на основі поєднання теорії приблизних множин і дерев рішень. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2023. № 4 (26), С. 87–94. DOI: 10.30837/ITSSI.2023.26.087
13. Коваленко О. Онтологія та модель трансформації інформації в ситуаційних агентних системах. *Електронне моделювання*. 2020. Т. 42. № 5. С. 5–23. DOI:10.15407/emodel.42.05.005
14. Kulvatunyou B., Wallace E.K., Kiritsis D., Smith B., Will C. The Industrial Ontologies Foundry Proof-of-Concept Project. *International Conference Advances in Production Management Systems (APMS 2018)*. In: *Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 4.0*. 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-99707-0_50
15. Karray M. H., Ameri F., Hodkiewicz M., Louge T. ROMAIN: Towards a BFO compliant Reference Ontology for Industrial Maintenance. *Applied Ontology*. 2019. No. 14 (2). P. 1–24. DOI: 10.3233/AO-190208
16. Tebes G. et al. Analyzing and documenting the systematic review results of software testing ontologies. *Information and Software Technology*. 2020. Vol. 123. P. 1–23. DOI: 10.1016/j.infsof.2020.106298
17. Beskorovainyi V., Kolesnyk L., Mgbere D. C. Mathematical models for determining the pareto front for building technological processes options under the conditions of interval presentation of local criteria. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2023. № 2(24), С. 16–26. DOI: 10.30837/ITSSI.2023.24.016
18. UTC Aerospace Systems. URL: https://www.linkedin.com/company/utc-aerospace-systems/?trk=public_profile_profile-section-card_subtitle-click&originalSubdomain=ua (дата звернення: 05.02.2024)
19. Конотоп Д. І. Знання-орієнтована система при проектуванні літальних апаратів. *Механіка гіроскопічних систем*. 2022. Вип. 44. С. 133–142. DOI: 10.20535/0203-3771442022284641
20. Adisorn T., Tholen L., Götz T. Towards a digital product passport fit for contributing to a circular economy. *Energies*. 2021. Vol. 14. No. 8, art. 2289. DOI: 10.3390/en14082289
21. ДСТУ 3974-2000. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання дослідно-конструкторських робіт. Загальні положення. URL: https://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/standarts/DSTU_3974-2000.pdf (дата звернення: 06.04.2024)
22. Malyeyeva O., Nosova N., Fedorovych O., Kosenko V. The semantic network creation for an innovative project scope as a part of project knowledge ontology. *CEUR Workshop Proceedings*. 2019. Vol. 2362. P. 301–311. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Semantic-Network-Creation-for-an-Innovative-as-Malyeyeva-Nosova/40932bf666b79ae2d6d0e808364beabe0e05519b>
23. A free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems. URL: <https://protege.stanford.edu> (дата звернення: 13.02.2024)

References

1. Fedorovych, O. Ye. & Pronchakov, Yu. L. (2020), "System modeling of strategic goals of an enterprise that develops in conditions of limited opportunities" ["Systemne modelyuvannya stra-tehichnykh tsiley pidpnyemstva, shcho rozvyvayet'sya v umovakh obmezhenykh mozhlyvostey"], *Aerospace Technic and Technology*, No. 2, P. 53–60. DOI: 10.32620/akt.2020.2.08

2. Lindgren, M., Bandhold, H. (2002), "Scenario Planning The link between future and strategy", *Palgrave Macmillan UK*, 180 p. DOI: 10.1057/9780230511620
3. Fedorovych, O.E., Yashina, O.S., Beletskyi, I.V. (2012), "Component design of aerospace equipment" ["Komponentne proektuvannya aerokosmichnoyi tekhniki"], Kharkiv: *National Aerospace University "KhAI"*, 180 p.
4. Uzunov, O. V. (2016), "System representation of complex technical objects in the tasks of analysis and synthesis" ["Systemne predstavleniya skladnykh tekhnichnykh ob'yektiv v zadachakh analizu ta syntezy"], *Bulletin of the National Technical University of Ukraine Kyiv Polytechnic Institute, Series: Mechanical engineering*, No. 1, P. 126–132. DOI: 10.20535/2305-9001.2016.76.68755
5. Artushin, L., Kononov, O., Yerko, V. (2021), "Determination of the resulting set of options in the multi-item selection of the composition of on-board equipment of combat aircraft for their modernization" ["Vyznachennya rezul'tuyuchoyi mnozhyny variantiv pry bahatoeryerynomu vybori skladu bortovoho obladdannya boyovykh litakiv dlya yikh modernizatsiyi"], *Collection of scientific works of the State Research Institute of Aviation*, No. 17 (24), P. 20–26. DOI: 10.54858/dndia.2021-17-3
6. Yablonsky, P.M. (2019), "Some issues of generalization of geometric modeling tools for the design of technical objects" ["Deyaki pytannya uzahal'nennya zasobiv heometrychnoho modelyuvannya dlya proektuvannya tekhnichnykh ob'yektiv"], *Modern modeling problems*, No. 13, P. 192–198. available at: <http://magazine.mdpu.org.ua/index.php/spm/article/view/2662/3179>
7. Konotop, D. I., Zinchenko, V. P. (2017), "3D-models design concept of complex technical objects using knowledge-based technology", *Mechanics of gyroscopic systems*, Vol. 34, P. 5–13. DOI: 10.20535/0203-3771342017130222
8. Sikora, L.S., Lysa, N.K., Miyushkovich, Y.G., Martysyshyn, R.S. et al. (2020), "Information technologies for identifying the structure of hierarchical systems to support decisions in conflict situations" ["Informatsiyi tekhnolohiyi identyfikatsiyi struktury iyerarkhichnykh system dlya pidtrymky rishen' v konfliktnykh sytuatsiyakh"], *Computer technologies of printing*, No. 2 (44), P. 8–38.
9. Xiao, X., Joshi, S. (2020), "Decomposition and sequencing for a 5-axis hybrid manufacturing process". *International Manufacturing Science and Engineering Conference*, Vol. 84256. DOI: 10.1115/MSEC2020-8385
10. Abdulsamad, H. Peters, J. (2020), "Hierarchical Decomposition of Nonlinear Dynamics and Control for System Identification and Policy Distillation", *Proceedings of the 2nd Conference on Learning for Dynamics and Control*. In: *Proceedings of Machine Learning Research*, Vol. 120, P. 904–914. available at: <https://proceedings.mlr.press/v120/abdulsamad20a.html>
11. Kirchhoffer, H. et al. (2021), "Overview of the neural network compression and representation (NNR) standard", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 32, No. 5, P. 3203–3216. DOI:10.1109/TCSVT.2021.3095970
12. Chernyshov, D., Sytnikov, D. (2023), "Binary classification based on a combination of approximate set theory and decision trees" ["Binarna klasyfikatsiya na osnovi poyednannya teoriiy pryblyznykh mnozhyn i derev rishen'"], *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No. 4 (26), P. 87–94. DOI: 10.30837/ITSSI.2023.26.087
13. Kovalenko, O. (2020), "Ontology and model of information transformation in situational agent systems" ["Ontolohiya ta model' transformatsiyi informatsiyi v sytuatsiynykh ahentnykh systemakh"], *Electronic modeling*, Vol. 42, No. 5, P. 5–23. DOI: 10.15407/emodel.42.05.005
14. Kulvatunyou, B., Wallace, E.K., Kiritsis, D., Smith, B., Will, C. (2018), "The Industrial Ontologies Foundry Proof-of-Concept Project", *International Conference Advances in Production Management Systems (APMS 2018)*. In: *Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 4.0*. DOI: 10.1007/978-3-319-99707-0_50
15. Karray, M. H., Ameri, F., Hodkiewicz, M., Louge, T. (2019), ROMAIN: Towards a BFO compliant Reference Ontology for Industrial Maintenance. *Applied Ontology*, No. 14 (2), P. 1–24. DOI: 10.3233/AO-190208
16. Tebes, G. et al. (2020), "Analyzing and documenting the systematic review results of software testing ontologies", *Information and Software Technology*, Vol. 123, P. 1–23. DOI: 10.1016/j.infsof.2020.106298
17. Beskorovainyi, V., Kolesnyk, L., Mgbere, D. C. (2023), "Mathematical models for determining the pareto front for building technological processes options under the conditions of interval presentation of local criteria", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No. 2(24), P. 16–26. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2023.24.016>
18. UTC Aerospace Systems. available at: https://www.linkedin.com/company/utc_aerospace_systems/?trk=public_profile_profile-section-card_subtitle-click&originalSubdomain=ua (last accessed 05.02.2024)
19. Konotop, D. I. (2022), "Knowledge-oriented system in the design of aircraft" ["Znannya-oriyentovana systema pry proektuvanni lital'nykh aparativ"], *Mechanics of gyroscopic systems*, Vol. 44, P. 133–142. DOI: 10.20535/0203-3771442022284641
20. Adisorn, T., Tholen, L., Götz, T. (2021), "Towards a digital product passport fit for contributing to a circular economy", *Energies*, Vol. 14, No. 8, art. 2289. DOI: 10.3390/en14082289
21. "DSTU (National Standard of Ukraine) 3974-2000 System of development and supply of products for production. Rules for performing research and development works. Terms" ["DSTU 3974-2000 Systema rozroblennia ta postavlennia produktsii na vyrobnytstvo. Pravyly vykonannya doslidno-konstruktorskykh robot. Zahalni polozhennia"]. available at: https://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/standarts/DSTU_3974-2000.pdf (last accessed 06.04.2024).
22. Mal'yeyeva, O., Nosova, N., Fedorovych, O., Kosenko, V. (2019), The semantic network creation for an innovative project scope as a part of project knowledge ontology", *CEUR Workshop Proceedings*, Vol. 2362, P. 301–311. available at:

<https://www.semanticscholar.org/paper/The-Semantic-Network-Creation-for-an-Innovative-as-Malyeyeva-Nosova/40932bf666b79ae2d6d0e808364beabe0e05519b>

23. A free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems. available at: <https://protege.stanford.edu> (last accessed 13.02.2024).

Надійшла 10.03.2024

Відомості про авторів / About the Authors

Федорович Олег Євгенович – доктор технічних наук, професор, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського "ХАІ", завідувач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Харків, Україна; e-mail: o.fedorovych@khai.edu, ORCID ID: 0000-0001-7883-1144

Малєєв Леонід Вікторович – Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського "ХАІ", аспірант кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Харків, Україна; e-mail: l.maleev@khai.edu; ORCID ID: 0009-0008-8896-2138

Fedorovych Oleg – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Head at the Department of Computer science and information technologies, Kharkiv, Ukraine.

Malieiev Leonid – National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", PhD Student at the Department of Computer Science and Information Technologies, Kharkiv, Ukraine.

ONTOLOGICAL MODEL OF STRUCTURE AND PARAMETERS OF COMPONENTS IN HIGH-TECH PRODUCT MODERNIZATION PROJECTS

The subject of the article is models representing the structure and parameters of components in high-tech products based on the analysis of technical documentation in modernization projects. **The purpose** of the proposed research is to enhance the quality of modernization processes of high-tech products by forming an ontological model of the product with innovative components, considering the diversity of information support. The article addresses the following **tasks**: studying the main methods and technologies of system representation of complex product structure; forming a model of structural-functional decomposition of a high-tech product, creating an ontological model of the structure and parameters of a high-tech product based on technical documentation. The following **methods** are applied: systemic approach, methods of functional-structural decomposition, set theory, ontology construction methods, semantic models. The following **results** were obtained: The main methods of system representation of complex product structure were investigated, based on the following principles: decomposition of complex product architecture, layering of complex product representation, multivariate synthesis of component architecture. The main directions and advantages of using 3D technologies for solving design tasks in modernization projects of high-tech product components are considered. The decomposition of a high-tech product into component parts and partial parameters is proposed, taking into account functional, structural, and parametric characteristics. An ontological model of the structure and parameters of a high-tech product is formed based on a set of technical documentation and considering additional heterogeneous sources of information. Innovative elements are identified, the description of which may be fuzzy. **Conclusions.** The proposed ontological model can serve as a basis for finding similar solutions regarding the design of innovative components in the precedent database, which is properly structured. In the absence of similar design solutions, innovative component design can be carried out using 3D technologies based on supplementing fuzzy information in the semantic model.

Keywords: modernization projects; high-tech products; components; decomposition; construction modeling; technical documentation; structure; parameters; ontology; semantic network.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Федорович О. Є., Малєєв Л. В. Онтологічна модель структури та параметрів компонент високотехнологічних виробів у проєктах їх модернізації. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2024. № 1 (27). С. 179–191.* DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2024.27.179>

Fedorovych, O., Malieiev, L. (2024), "Ontological model of structure and parameters of components in high-tech product modernization projects", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (27), P. 179–191. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2024.27.179>