

УДК 004.5

О. Г. Додонов, В. Р. Сенченко, О. В. Коваль, А. В. Бойченко

Інститут проблем реєстрації інформації НАН України
вул. М. Шпака, 2, 03013 Київ, Україна

Моделювання сценаріїв аналітичної діяльності на основі нотації BPMN та OWL

Запропоновано теоретичний підхід до моделювання сценаріїв аналітичної діяльності (АнД) із залученням технологій, які притаманні BPM-системам з так званою керованою моделлю (model driven), а також за допомогою веб-мови онтологій (OWL). Особливість підходу з керованою моделлю полягає в тому, що розробка сценаріїв ведеться в термінах предметної області, а не комп'ютерного середовища для їхнього виконання. За аналогією з бізнес-процесами, сценарії АнД можуть бути представлені сукупністю процесних моделей у нотації BPMN. Моделі взаємодіють між собою в рамках загального сценарію, а кожна модель має початок і кінець. Для формування додаткового формального опису запропоновано використання семантичної OWL-моделі сценарію мовою XML, що сприяє концептуалізації неструктурованій інформації, яка присутня в OWL-моделі. В роботі повністю описано процес конвертації BPMN-моделі в OWL-модель. Це продемонстровано на прикладі моделювання сценарію АнД у редакторі BizAgi Process Modeler. Розроблений BPMN-сценарій за допомогою технології BPMN-to-S-BPM-Ontology конвертується в OWL-файл, який досліджується засобами Protégé 5. Запропонований підхід дає низку переваг, починаючи із суттєвого спрощення самого процесу моделювання та валідації сценаріїв в інтегрованому середовищі BPMN-OWL і закінчуючи реалізацією моделі в середовищі стандартних BPM-систем.

Ключові слова: аналітична діяльність, сценарії, BPMN нотація, BPMN-модель, онтологія, OWL-модель, конвертація XPDЛ.

Постановка проблеми

Ефективність аналітичної діяльності (АнД) значною мірою залежить від якості та ефективності організації самого процесу такої діяльності, яка поряд з методичним та управлінським керівництвом реалізується через множину аналітичних сценаріїв [1]. У цьому контексті під сценарієм АнД розуміється сукупність послі-

довного та взаємозалежного набору організаційних дій і аналітичних процедур, які направлені на обробку даних, інформації і знань з метою отримання кінцевого результату, що відповідає поставленій цілі АнД [18]. Для певних сфер діяльності моделювання сценаріїв — це складний багатоітераційний процес, який не тільки має описувати безпосередньо дії аналітика, але й враховувати особливості функціонування комп'ютерного середовища, аналітичних програмних засобів, взаємодію між виконавцями з різними рівнями компетенції, а також враховувати багато інших факторів [23].

Як показує практика, традиційні методи проектування сценаріїв АнД в основному зосереджуються на створенні спеціалізованого ПЗ або придбанні та адаптації готового ПЗ від відомих виробників (як правило з надлишковою функціональністю). Наслідком таких рішень є те, що в разі внесення навіть невеликих змін у сценарії, виникає необхідність перепрограмування виконуваного коду, що потребує значних інтелектуальних зусиль, залучення додаткових фінансів і зайвих витрат часу. В результаті прикладні програми все одно не встигають оновлюватися в тому темпі, який потрібен аналітичній системі для реагування на виклики часу. Саме тому важливого значення набувають теоретичні та технологічні аспекти формування змінюваних сценаріїв АнД.

Одним із шляхів вирішення проблеми моделювання сценаріїв є залучення підходів і технологій, які притаманні BPM-системам (Business Process Management) з так званою «керованою моделлю» (model driven) [2]. Відмітна особливість систем з керованою моделлю полягає в тому, що розробка систем ведеться в термінах предметної області (PrO), а не комп'ютерного середовища для їхнього виконання, а розробник зосереджується на вдосконаленні моделі сценарію.

Суть залучення BPM-рішень полягає в тому, що за аналогією з бізнес-процесами, сценарії АнД можуть бути представлені сукупністю процесних моделей, які взаємодіють між собою в рамках загального сценарію, а кожна модель має початок і кінець. Для спрощення самого процесу формування сценаріїв залучаються графічні методології і відповідні засоби моделювання, зокрема, нотація BPMN (Business Process Model and Notation) [13]. Таке рішення дозволяє не тільки моделювати сценарії АнД у вигляді BPMN-діаграм, але й серіалізувати в XML-файл для відпрацювання в комп'ютерному середовищі із залученням стандартного ПЗ BPM-систем.

Однак, незважаючи на безумовні переваги, методи графічного моделювання мають суттєвий недолік — відсутність розвинених механізмів семантичного опису та верифікації сценаріїв. Саме тому пропонується доповнювати графічну модель (в нотації BPMN) онтологічною моделлю із залученням спектра методів семантичного аналізу. Тобто BPMN-модель має бути конвертована в OWL-файл, що включає такий набір сутностей онтології, який співвідноситься з усіма графічними елементами діаграми сценарію в нотації BPMN. Завдяки конвертації BPMN-моделі, OWL-модель сценарію АнД фактично перетворюється в базу знань організації, яка може розширюватися за рахунок додавання нових сценаріїв АнД.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Концепція процесного управління BPM переживає сьогодні друге народження. В сучасному трактуванні BPM була сформульована в роботі Г. Сміта та

П. Файнгара «Управління бізнес-процесами (BPM): третя хвиля». Концепція BPM поєднує процесну методологію проектування та сучасні інформаційні технології (IT), що реалізують методи графічного моделювання, процесний рушій, функціонал аналітики та моніторингу. На базі BPM виник новий клас програмного забезпечення — BPMS — «Business Process Management Software» або «Business Process Management Suite», який сьогодні підтримується як відомими компаніями IBM, Oracle, SAP, Software AG, так і десятками pure-play vendors [3]. Розвитком напрямів BPM і BPMS є графічна нотація BPMN, яка з 2013 року прийнята як стандарт моделювання ISO/IEC 19510 [4] в галузі IT. Нотація дозволяє не тільки будувати діаграми процесів у графічній формі, але й перетворювати їх у виконуваних XPDЛ-файли, що відпрацьовуються за допомогою процесного рушія в комп'ютерному середовищі BPMS-IT систем.

Ідея конвертації BPMN-діаграми в онтологію виникла на початку 2010-х років. З теоретичної точки зору, конвертація BPMN-діаграм в OWL-моделі призводить до створення бази знань організації [5]. На даний час дослідження у цій сфері відбуваються в двох напрямках: створення еталонної мета-моделі BPMN, яка використовується для оцінки відповідності отриманої онтології ПрО графічним примітивам нотації BPMN; створення засобів автоматизації конвертації BPMN в OWL-модель.

Перша реалізація мета-моделі BPMN була створена під керівництвом Natschläger [7], але ця онтологія не має вільного розповсюдження, тому з міркувань практичного застосування вважається недоступною для використання. Друга мета-модель виконана в університеті Верони [6] у 2014 році, однак вона з невідомих причин не набула поширення. І, нарешті, онтологічна мета-модель BPMN 2.0 від Institute for Public Policy Research (IPPR) (Великобританія) [8]. IPPR не є комерційною фундацією, тому їхня онтологічна мета-модель нотації BPMN 2.0 є вільно розповсюдженою.

Теоретично для повної взаємодії між концептами OWL-моделі та графічними примітивами BPMN 2.0 бажано досягти співвідношення (1:1) для всіх класів онтології, але в реальних умовах ціна забезпечення такого співвідношення може бути занадто високою. На практиці для проведення семантичного аналізу достатньо мати обмежений набір класів онтології, але який відображує взаємодію між елементами реальної BPMN-моделі. На сайті GitHub представлені дві технології для конвертації BPMN-моделі в онтологію: це BPMN2SBPM [10] та PM2ONTO [9] від різних розробників. Технологія BPMN2SBPM позиціонується як виконуваний JAR файл (Java ARchive), що приймає XML-файл від нотації BPMN і конвертує його в OWL-файл S-BPM-систем.

Постановка завдання

Метою статті є розгляд особливостей технології моделювання сценаріїв на основі графічних методів нотації BPMN та OWL-моделей для забезпечення аналітичної діяльності підприємства. При всьому різноманітті концептуальних підходів до розробки проблеми формування сценаріїв АнД, на думку авторів, не в повному обсязі проведені дослідження в частині залучення графічних підходів при формуванні аналітичного забезпечення.

Результати дослідження

1. Теоретичне обґрунтуванням інтегрованої технології моделювання сценаріїв аналітичної діяльності

Як показують дослідження [5–7, 11, 12, 20, 21], застосування тільки графічних методів моделювання сценаріїв (навіть за стандартом ISO/IEC 19510 [4]) не виключає появи семантичних помилок, що пов'язані з моделюванням складних зв'язків між учасниками сценарію. Для усунення такої невідповідності пропонується інтегрована технологія моделювання сценаріїв АнД, заснована на графічних методах процесного моделювання та онтологічному аналізі сценаріїв, сформованих у нотації BPMN.

Для здійснення процесного моделювання сценаріїв вживаються певні категорії понять нотації BPMN, як дозволяють доволі повно визначити сценарії АнД через її графічні елементи. До таких категорій відносяться [6]:

- 1) категорія об'єктів потоку (flow objects) — містить такі графічні елементи як подія (Event), завдання (Task), підпроцес (Sub-Process), шлюз (Gateway);
- 2) категорія з'єднувальних об'єктів (connecting objects) — потік послідовності (Sequence Flow), потік повідомлень (Message Flow), асоціація (Association);
- 3) категорія доріжки (swimlanes) — пул (Pool), смуга (Lane);
- 4) категорія артефактів (artifacts) — об'єкт даних (Data Object), текстова анотація (Text Annotation), група (Group).

Кінцевим результатом моделювання сценарію АнД є *діаграма* в нотації BPMN — графічна модель сценарію, серіалізована в XPDL-файл (XML Process Definition Language).

У математичному сенсі *діаграма* сценарію — це спрямований граф, який складається з елементів нотації BPMN та описується кортежем

$$Gr(Bp_N) = (V(Bp_N), E(Gr), L(v), Id(v), Rul^{(Bp)}, p(v)),$$

де $V(Bp_N)$ — множина вузлів спрямованого графа $Gr(Bp_N)$, причому множина вузлів графа має вигляд $V(Bp_N) = \{St \cup Tk \cup In \cup Gt \cup Fn\}$, де

$\{St\}$ — підмножина вершин, що представляють собою стартові події (Start Event);

$\{Tk\}$ — підмножина вершин, що представляють задачі (Task, Sub-Process);

$\{In\}$ — підмножина вершин, що представляють собою проміжні події процесу (Intermediate events) в межах пулу (Pool);

$\{Gt\}$ — підмножина вершин, що представляють собою шлюзи (Gateway) — логічні оператори;

$\{Fn\}$ — підмножина вершин, що представляють кінцеві події (End Event) кожного підпроцесу або пулу (Pool);

$\{E(Gr)\}$ — множина ребер, які зв'язують вершини в направлені ребра $(v_i, v_{i+1}) \in E(Gr)$ спрямованого графа. Зв'язування вершин здійснюється через

категорію з'єднувальних об'єктів (connecting objects), де матриця суміжності ребр графа має вигляд $E(Gr) \subseteq |V(Bp_N) \times V(Bp_N)|$ для n вершин графа;

$\{L(v)\}$ — множина міток вершин, які дозволяють однозначно визначати кожну вершину $V(Bp_N)_i$ у спрямованому графі $Gr(Bp_N)$;

$\{Id(v)\}$ — функція розмітки вершин в спрямованому графі для надання унікальних імен, яка має вигляд — $Id(v): V(Bp_N) \rightarrow L(v)$;

$\{Rul^{(Bp)}\}$ — множина правил зв'язування графічних елементів нотації, які враховують семантичні обмеження та умови розгалуження потоків у шлюзах моделі;

$p(v): E(Gr) \rightarrow [0,1]$ — булева функція — зіставляє значення ймовірності ребрам, які зв'язують вершини спрямованого графа.

Для виконання аналізу та подальшого вдосконалення моделі сценарію в нотації BPMN спрямований граф $Gr(Bp_N)$ має бути серіалізований у форматі XML (для взаємодії з OWL-редакторами) та мовою XPDЛ для обміну моделями процесів у середовищі виконання BPM-систем.

Слід нагадати, що внаслідок суб'єктивного сприйняття аналітиком специфікацій ПрО, завжди виникають помилки моделювання процесів. Ці помилки пов'язані як з компетентністю аналітика, так і з недоліками суто формального опису процесів, які притаманні безпосередньо **нотації** BPMN [10]. Автори, що проводили дослідження типових помилок, які допускають аналітики при проектуванні бізнес-процесів у нотації BPMN, визначають шість типів помилок [20]. Але, на наш погляд, при моделюванні сценаріїв АнД до найбільш вагомих можна віднести такі помилки:

1) недостатньо чітко визначені умови настання кінцевих подій — Fn (End Event);

2) недостатньо чітко визначені умови настання проміжних подій — In , що призводить до виключення подій з потоку бізнес-процесу (Process Flow) або невірному виконанню процесу;

3) недостатньо зв'язані задачі або підпроцеси сценарію — оскільки не враховані особливості різних об'єктів потоку (завдання, підпроцеси, шлюзи, події) і правила їхнього з'єднання;

4) у документах, які описують процеси, нечітко визначені складні (багатофакторні) умови поділу потоку процесу шлюзами (Gateway) Gt на кілька маршрутів — ребер. Оскільки в нотації BPMN ребра вершини графа описуються булевими змінними $p(v): E(Gr) \rightarrow [0,1]$, це суттєво ускладнює коректне формування багатофакторних умов із залученням механізму тригерів подій.

Отже, для формування коректної моделі складного бізнес-процесу бажано мати додатковий формальний опис — семантичну модель ПрО мовою XML, яку сприймає нотація BPMN. Найбільш прийнятним описом, що може доповнювати та пояснювати графічні діаграми BPMN і сприймається засобами моделювання, вважається онтологічна модель, серіалізована у вигляді OWL-файлу. Як технологію взаємодії OWL-моделей з XML-файлами може бути запропоновано онтологічний аналіз [22]. Цей аналіз базується на положенні двостороннього відображення

між XML-файлом нотації BPMN (у вигляді спрямованого графа — $Gr(Bp_N)$) і онтологією $Ont(SD)_{BP}$, яка додає семантичне пояснення та інтерпретацію процесів. Це означає створення реальної онтології ПрО, яка серіалізована у вигляді OWL-файлу. Така онтологія має містити в собі всі класи, які співвідносяться з класами BPMN-нотації, а також обмеження та анотації. На основі реальної онтології ПрО можна провести декілька типів аналізів BPMN-моделі, наприклад, з метою перевірки виконання умов настання кінцевих або проміжних подій, а також коректності формування багатofакторних умов поділу потоку процесу шлюзами моделі.

Формально концептуальну модель онтології ПрО — $Ont(SD)_{BP}$, яка описує сценарій і співвідноситься з нотацією BPMN, можна представити у вигляді математичного виразу

$$Ont(SD)_{BP} = \langle C^{(E)}, An^{(C)}, Rel^{(H)}, T^{(A)}, Ax^{(s)}, Rul^{(S)}, Ex^{(C)} \rangle,$$

де $\{C^{(E)}\}$ — підмножина класів (<Classes>) основних концептів (<Entities>) — понять ПрО, які співвідносяться з основними класами нотації BPMN;

$\{An^{(C)}\}$ — підмножина «властивість анотації» (<Annotation Property>), що використовується для надання концептам (класам, сутностям, екземплярам) онтології додаткової інформації при описі бізнес-процесів;

$\{Rel^{(H)}\}$ — підмножина відношень (<Object properties>) між класами $\{C^{(E)}\}$ та властивостями $\{T^{(A)}\}$, що задаються предикатами $\{Rel^{(H)}\}$ — дієсловами, через які описуються відношення (типи зв'язків) у визначеній ПрО, та співвідносяться з основними класами нотації BPMN;

$\{T^{(A)}\}$ — підмножина атрибутів (<Data properties>), що описує властивості класів $\{C^{(E)}\}$ (назви, їхні типи, області значень даних тощо);

$\{Ax^{(s)}\}$ — підмножина аксіом (<Axioms>), що визначають основні поняття ПрО, які завжди для неї істинні. Аксіоми записуються предикатами першого порядку і задають правила виводу для встановлення співвідношення між підмножиною класів (<Classes>) онтології ПрО та основними класами нотації BPMN;

$\{Rul^{(S)}\}$ — підмножина правил логічного виводу для встановлення дійсних співвідношень між підмножиною класів (<Classes>) онтології ПрО та основними класами нотації BPMN;

$\{Ex^{(C)}\}$ — множина екземплярів (<Instances>) класів $\{C^{(E)}\}$, яка використовується для встановлення співвідношення між підмножиною класу (<Classes>) онтології ПрО та екземплярами графічних елементів, що описують склад діаграми в нотації BPMN.

Взаємодія між конструкціями графічної нотації BPMN та OWL онтологією ПрО показана на рис. 1. Напрямок відображення інтерпретації моделі сценарію Анд

описує відображення (Mapping) від нотації BPMN до онтології ПрО, а відображення уявлення — зворотне відображення.

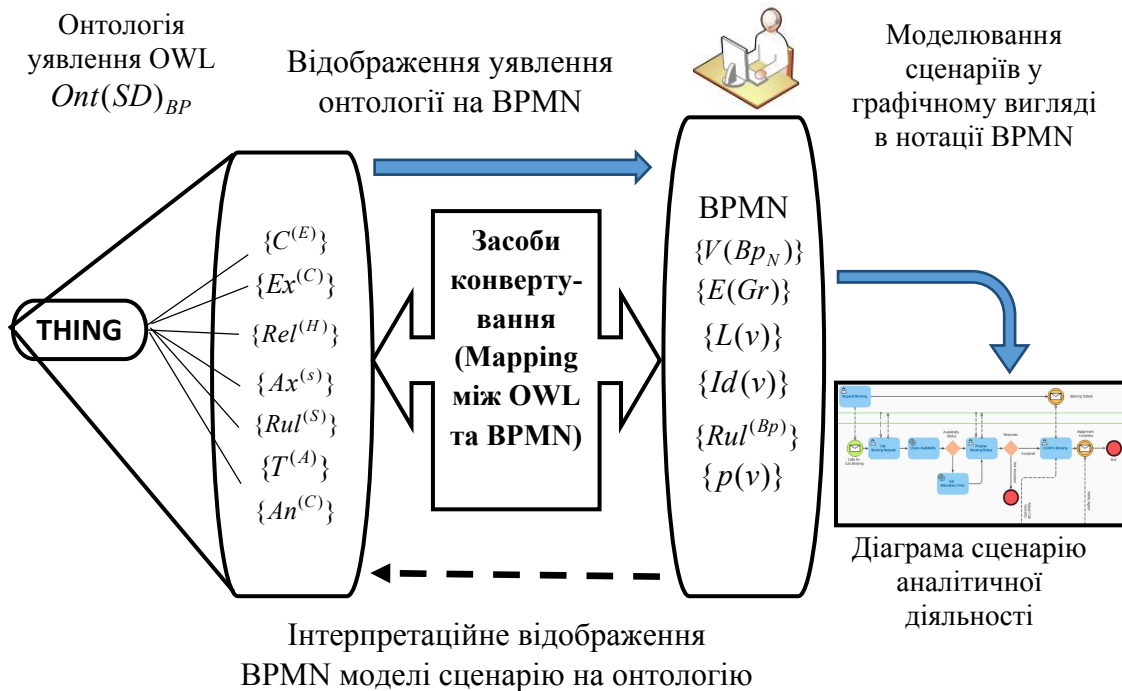


Рис. 1. Взаємодія між конструкціями графічної нотації BPMN та онтологією ПрО

Таке рішення має забезпечувати взаємне конвертування (Mapping) між конструкціями графічної нотації BPMN та OWL онтологією на мові XML. Умовою такої взаємодії є підтримка співвідношення 1:1 між концептами OWL онтології та примітивами BPMN-нотації, які входять до складу спрямованого графа $Gr(Bp_N)$ моделі сценарію. Слід підкреслити, що технологічна реалізація співвідношення 1:1 між OWL та BPMN потребує використання сучасних теоретичних рішень як у галузі онтології, так і в галузі BPM-аналізу.

2. Визначення глибини та масштабу моделі сценарію

Розробку моделі багаторівневого сценарію АнД доцільно починати з визначення глибини та масштабу моделі ПрО. Тобто, модель сценарію (процесу) є, по суті, відповіддю на декілька основних питань, які дозволять провести всебічний аналіз з усіх точок зору на сценарії та деталізувати його. Найбільш вагомими серед них є наступні питання.

1. Що є початковими умовами функціонування багаторівневого сценарію та як сформульована кінцева мета АнД?
2. Які вихідні документи або інформація є результатом виконання сценарію АнД?
3. Які учасники (participant) мають бути залучені для виконання багаторівневого сценарію АнД та які ролі вони виконують — фахівці, аналітики, керівники тощо?

4. Які процедури (функції, завдання) та в якій послідовності необхідно виконати учасникам (у межах їхніх компетенцій) для отримання бажаного кінцевого результату?

5. Які механізми взаємодії, управління та синхронізації подій мають бути запропоновані між різними рівнями сценарію АнД?

6. Які нормативні документи, інформація або інші ресурси необхідні для виконання кожної процедури сценарію?

7. Які параметри потрібні для визначення умов виконання окремих процедур та сценарію АнД в цілому?

8. Яка документація регламентує коректне виконання процедур сценарію в цілому?

Безумовно, відповіді на ці питання змінюються протягом процесу проектування моделі ПрО, але в будь-який момент часу вони дозволяють обмежити масштаб моделі системи, якщо вона стає занадто складною.

Відповідно до методології Стенфордського університету, процес визначення (опису) онтологічної мета-моделі BPMN 2.0 є ітеративним і виконується шляхом поетапного уточнення понять і їхніх властивостей. Процес складається з наступних етапів.

1. Визначення та опис основних сутностей ядра нотації BPMN 2.0 у вигляді таксономії базових класів — BPMN_element.

2. Визначення понять графічних примітивів нотації BPMN 2.0 та представлення їх як підкласи класів, визначених на попередньому кроці — graphical_element.

3. Визначення і опис понять створення онтологічного класу (додаткові елементи) для формування відносин між графічними примітивами нотації і корисного для мета-моделі — supporting_element.

4. Визначення атрибутів, обмежень і відношень між поняттями.

3. Платформа BizAgi як засіб інтелектуального моделювання сценаріїв

На даний час на ринку IT-технологій сформувались і використовуються велика кількість стандартів опису бізнес-процесів це BPMN, UML, BPEL, XPDL, WSCDL, JPD, Xlang, BPML, WSFL, WSCL, BPSS, WSCI. В більшості, ці стандарти підтримують тенденцію розвитку технологій компонентно-орієнтованого програмування. Але перехід IT-систем до парадигми сервіс-орієнтованої архітектури (SOA) вимусив бізнес-аналітиків звертати увагу саме на стандарти та засоби моделювання і опису процесів, які реалізують веб-сервіси бізнес-процесів. Виходячи з цього, список стандартів і мов моделювання скорочується до BPML (BPMN), JPD (Java Process Definition Language), WSFL, WSCL, BPSS, WSCI.

Аналіз сучасних інструментальних засобів моделювання бізнес-процесів, таких як Bizagi Process Modeler, Bonita BPM, Oracle Hyperion Business Modelling, IBM WebSphere Business Modeler, ERWin Process Modeler ARIS Business PERFORMANCE Edition, показав, що найбільш перспективною для використання як базового інструментарію визнано платформу Bizagi Process Modeler [15].

Платформа **Bizagi** — це BPM-система, а також однойменна компанія з розробки програмного забезпечення, яка заснована в 1989 році. Штаб-квартира компанії **Bizagi** розташована у Великобританії, а представництва — у США, Німеч-

чині, Іспанії і Латинській Америці [16]. Назва BizAgi об'єднує два поняття «business» and «agility» («бізнес» і «спритність»).

Принциповою особливістю методології BPM, яка реалізована в **BizAgi**, є можливість моделювати сценарії за допомогою графічного редактора, що оперує з елементами нотації BPMN 2.0. Такі елементи мають стандартні позначення, певну семантику та, як правило, однозначно сприймаються людиною — як аналітиком, так і керівником. Для більш глибокого розуміння особливостей Про вхідні документи, що необхідні для проектування, можуть бути доповнені онтологіями Про у вигляді OWL-файлів. Це дає можливість проектування сценаріїв (алгоритмів процесів) безпосередньо аналітиком (фахівцем у Про), а засоби інтелектуалізації самого циклу проектування дозволяють отримувати виконувану модель процесу, навіть без участі програміста.

Основними категоріями графічних елементів нотації BPMN, з якими оперує аналітик при побудові сценаріїв Анд, є: діяльність (Activities); підпроцеси (Subprocess); події (Events); шлюзи (Gateways); артефакти (Artifacts); об'єкт даних (Data objects); бази даних (Data stores); пули (Pools); доріжки (Lanes); потоки управління (Sequence flows); потоки повідомлення (Message flows) (рис. 2).

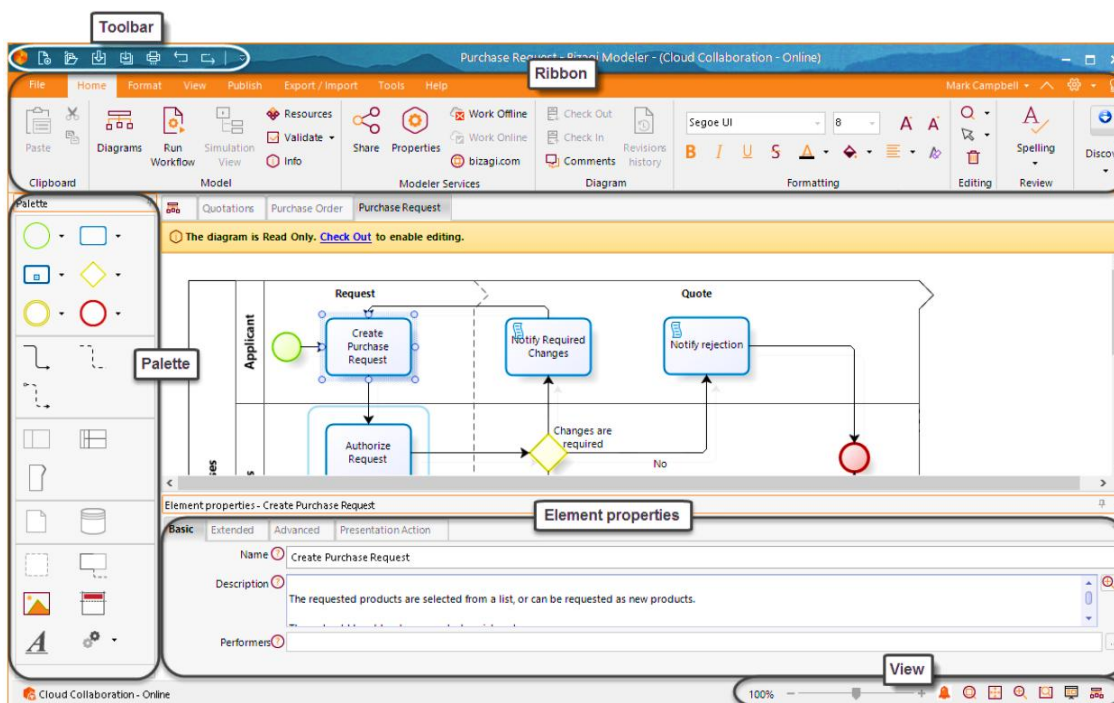


Рис. 2. Графічний редактор BizAgi Process Modeler Version 3.6

Process Modeler Version 3.6 дозволяє отримувати результати моделювання у форматах XML, XPD, BPMN, MS Visio, MS Word, MS Excel, PDF або публікувати результати у веб-браузері, на сайті SharePoint або у Wiki.

За тест для перевірки теоретичних положень взято BPMN-модель сценарію <Аналіз запитів>, яка виконана в графічному редакторі BizAgi Process Modeler. Графічне відображення сценарію в нотації BPMN наведено на рис. 3. Модель

складається з двох пулів з ролями <Аналітик> і <Пошукова система>, які взаємодіють у процесі обробки аналітичних запитів на різних рівнях.

Безпосередньо для конвертації BPMN-моделі в OWL-файл використовується файл «Аналіз запитів.xpdl». XPDL-файл визначає XMLSchema для опису декларативної частини виконуваного процесу діаграми сценарію (файл «Аналіз запитів.xpdl»).

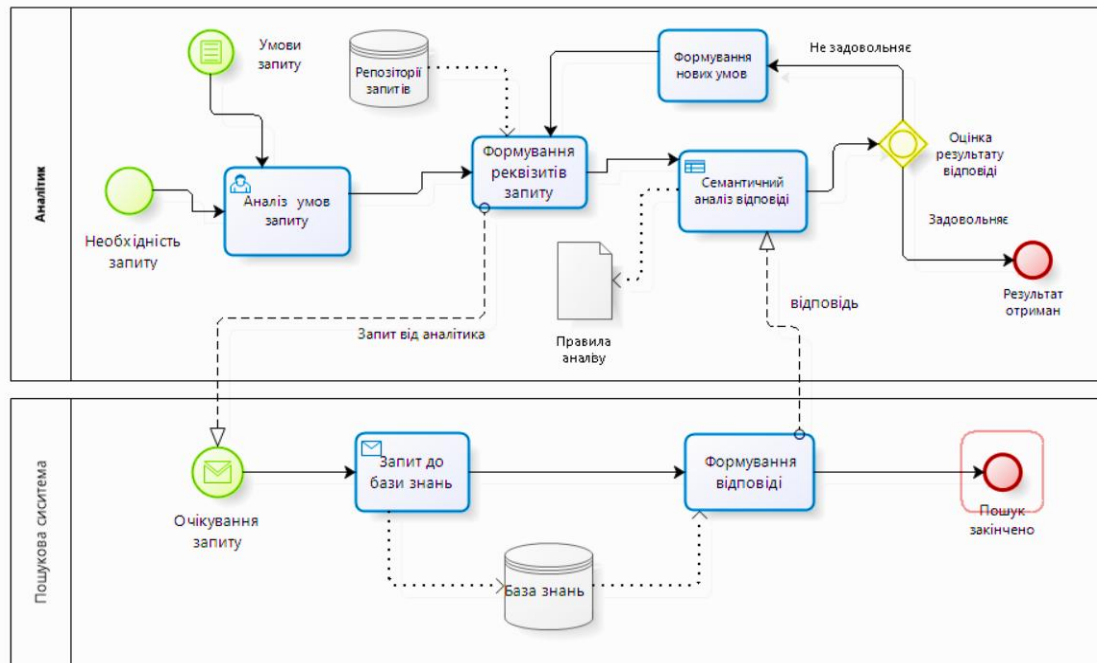


Рис. 3. Приклад простого сценарію аналітичної діяльності в нотатції BPMN

4. Визначення критеріїв якості процесу конвертації моделі BPMN в OWL-файл

Процес конвертації BPMN-моделі в OWL-файл передбачає вирішення декількох концептуальних проблем.

По-перше, необхідно, щоб для кожного вузла у файлі OWL було поставлено унікальний номер примірника, оскільки кожен вузол на діаграмі BPMN представляє один екземпляр.

По-друге, екземпляри вузлів у файлі OWL зберігаються як іменовані індивіди, які повинні мати унікальні імена. Іменовані індивіди можуть мати значення вузла, який задається як текстовий вміст у файлі OWL, тому необхідно перевірити, чи є у них значення вузла чи ні.

По-третє, оскільки іменовані індивіди можуть мати атрибути, вони також повинні бути встановлені у конвертований файл OWL.

Для оцінки якості перетворення BPMN-моделі у відповідний файл OWL повинні бути визначені певні критерії повноти та несуперечності онтології. Відповідно до загальних теоретичних положень OWL нами були сформульовані критерії повноти та несуперечності онтології, які дозволяють підтримувати співвідно-

шення між графічними примітивами нотації та її еквівалентами онтологічної моделі.

Отже, конвертована з BPMN-моделі OWL-онтологія вважається достатньою та несуперечною, якщо в процесі її оцінки можуть бути доведені наступні базові твердження.

1. Кожний графічний елемент BPMN-моделі з діаграми сценарію <Аналіз запитів> (XML-елемент у файлі XPDЛ) визначається як окремий клас OWL з унікальним ім'ям. У свою чергу, кожний клас OWL має чітку семантичну інтерпретацію та співвідноситься (1:1) з відповідним класом онтології мета-моделі BPMN 2.0, такими як: <DataObject>, <MessageEndEvent>, <FlowElement>, <EndEvent>, <Events>, <Group>, <ResourceRole>, <Resource>, <DataAssociation>, <SubProcess>, <Task> та інші.

2. Кожний клас OWL описується певними властивостями (<Data properties> або <Object properties>), які мають бути асоційованими з відповідними XML-атрибутиами у файлі XPDЛ. Це означає, що кожний XML-атрибут у файлі XPDЛ моделі сценарію повинен асоціюватися або із сутністю <Data properties>, яка визначає властивості даних OWL-моделі, або із сутністю <Object properties>, яка визначає взаємозв'язки між класами, що існують у межах BPMN-діаграми сценарію.

3. Кожний процес сценарію <Pool> у BPMN-моделі повинен співвідноситися з відповідним класом <BPMNPlane>, який визначає контейнер в OWL-моделі. Для підтримки семантичної відповідності кожний процес <Pool> має асоціюватися з учасником <Participant> та позначатися унікальним ім'ям.

4. Кожний процес <Pool> повинен описуватися певною сукупністю вузлів (графічних елементів BPMN), яка включає хоча би одну функціональну задачу <Task>, а також початкову <Start Events> та кінцеву подію <End Even> і співвідноситься з класом <BPMNShape>, що визначає набір примірників графічних елементів нотації (<Task>, <Event>, <Gateway>, <Sequence Flow>, <Message flow> тощо).

5. Кожен вузол спрямованого графа $Gr(Bp_N)$ на діаграмі BPMN представляє один екземпляр (примірник) класу <BPMNEdge>. Тому для створення семантичної відповідності BPMN-діаграми необхідно, щоб кожний вузол у OWL-файлі співвідносився з унікальним ідентифікатором примірника BPMN-діаграми. Отже, у OWL-файлі екземпляри класів, що описують конкретну діаграму, повинні зберігатися як іменовані індивіди, які повинні мати унікальні імена та співвідноситися з примірниками елементів BPMN-діаграми.

6. Усі обмеження властивостей певних класів онтології (конвертованій з XPDЛ-файлу) співвідносяться з обмеженнями <Restriction> на визначення відповідних графічних елементів, що існують у BPMN-моделі сценарію. Ці обмеження або більш точно ідентифікують певний клас OWL-моделі, або вони визначають тип даних <Data properties> для створення аксіом.

Виконання перелічених умов має забезпечувати взаємне конвертування (Mapping) між елементами графічної нотації BPMN та OWL онтологією, що дозволить підвищити якість моделювання сценаріїв у цілому. Умовою такої взаємодії є підтримка співвідношення 1:1 між концептами OWL онтології і примітивами BPMN-нотації, які входять до складу спрямованого графа $Gr(Bp_N)$ моделі сценарію.

5. Візуалізація та оцінка результату конвертації моделі BPMN в OWL-файл

Для підтвердження теоретичних положень онтологічного моделювання сценаріїв аналітичної діяльності, а також реалізації моделей та отримання практичних переваг обрано технологію конвертації BPMN-to-S-BPM-Ontology [10].

Закладенні в технологію BPMN-to-S-BPM-Ontology рішення підтримують всі основні графічні примітиви нотації BPMN 2.0.

Конвертація вхідного файлу являє собою ітераційний процес, який починається з аналізу XPDL-файлу для ідентифікації шаблонів елементів мета-моделі BPMN-онтології, з відповідними шаблонами XML-елементів у файлі XPDL для ідентифікації класів. Фрагмент тексту BPMN-моделі конвертований в OWL-файл наведено нижче.

```

<owl:Class rdf:about="http://www.reiter.at/ontology/generated#document">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="http://www.reiter.at/ontology/generated#bpmn2:definitions"/>
      <owl:qualifiedCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</owl:qualifiedCardinality>
      <owl:onClass rdf:resource="http://www.reiter.at/ontology/generated#bpmn2:definitions"/>
    </owl:Restriction>
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
  <owl:Class rdf:about="http://www.reiter.at/ontology/generated#bpmn2:definitions">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Restriction>
        <owl:onProperty rdf:resource="http://www.reiter.at/ontology/generated#exporter"/>
        <owl:qualifiedCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</owl:qualifiedCardinality>
        <owl:onDataRange rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
      </owl:Restriction>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:about="http://www.reiter.at/ontology/generated#bpmn2:definitions">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Restriction>
        <owl:onProperty rdf:resource="http://www.reiter.at/ontology/generated#exporterVersion"/>
        <owl:qualifiedCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</owl:qualifiedCardinality>
        <owl:onDataRange rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
      </owl:Restriction>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:about="http://www.reiter.at/ontology/generated#bpmn2:definitions">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Restriction>
        <owl:onProperty rdf:resource="http://www.reiter.at/ontology/generated#id"/>
        <owl:qualifiedCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</owl:qualifiedCardinality>
        <owl:onDataRange rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
      </owl:Restriction>
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  <owl:Class rdf:about="http://www.reiter.at/ontology/generated#bpmn2:definitions">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Restriction>
        <owl:onProperty
rdf:resource="http://www.reiter.at/ontology/generated#targetNamespace"/>

```

```

        <owl:qualifiedCardinality
rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#nonNegativeInteger">1</owl:qualifiedCardinality>
        <owl:onDataRange rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
    </owl:Restriction>
</rdfs:subClassOf>
</owl:Class> <owl:Class rdf:about="http://www.reiter.at/ontology/generated#bpmn2:definitions">
<rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>

```

Для відображення отриманої у процесі конвертації онтології використовується відомий редактор Protégé 5, розроблений Стенфордським університетом [14], який відноситься до візуальних редакторів. Візуальні методи сприяють швидшому та повному розумінню структури знань предметної області.

На рис. 4. наведена загальна схема онтології, яка отримана в результаті автоматичної конвертації вхідного XPDL-файлу за допомогою технології BPMN2SBPM. Схема онтології відображується редактором Protégé 5 і складається з наступних сутностей:

Class count (базових класів мета-моделі)	52
Object property (типів взаємодії між класами)	51
Data property (властивостей класів)	25
Individual (примірників, що описують діаграму)	690
Declaration axioms (декларовані аксіоми)	818
Annotation (загальні анотації)	27

BPMN-діаграма сценарію позначається через суперклас <BPMNDiagram>, який визначає зображення всієї або частини моделі BPMN-діаграми. Клас <BPMNDiagram> описується через специфікацію трьох дочірніх класів:

<BPMNPlane> — визначає контейнер, який описує один процес на BPMN-діаграмі (еквівалент графічного елемента <Pool>) — кореневий елемент BPMN-діаграми;

<BPMNShape> — визначає набір примірників графічних елементів нотатції (Task, Event, Gateway, Sequence Flow, Message flow тощо), що входять до складу реального процесу BPMN-діаграму;

<BPMNEdge> — опис ребер, які зв'язують примірники графічних елементів реальної BPMN-діаграми процесу;

Класи <BPMNPlane>, <BPMNShape> і <BPMNEdge> посилаються рівно на один елемент з моделі <BPMNDiagram> із використанням атрибута <bpmnElement>. Це візуальне скорочення, яке фактично нормалізує дві асоціації даних у моделі BPMN реального процесу.

Клас <BPMNDiagram> також володіє колекцією елементів <BPMNStyle>, на які посилаються елементи <BPMNLabel> у реальній BPMN-діаграмі. Елемент <BPMNLabel> — це своєрідна мітка, яка зображує текстову інформацію про будь-який графічний елемент BPMN-діаграмі. Межі визначення класу <BPMNLabel> завжди належить класу <BPMNDiagram> і відносяться до точки початку процесу з координатами X та Y — це положення лівого верхнього кута мітки — фактично (щодо лівого верхнього кута площини) графічного елемента <Pool> еквівалент класу <BPMNPlane>.

Усі елементи класу <BPMNEdge>, який описує підмножину ребер BPMN-діаграми, належать безпосередньо до <BPMNPlane> (тобто до кореневого елемента

ту <BPMNDiagram>). Параметр <Waypoints> у BPMN-онтології визначає початок обходу спрямованого графа (BPMN-діаграми), завжди прив'язується до точки початку обходу і ОБОВ'ЯЗКОВО позначається позитивними координатами.

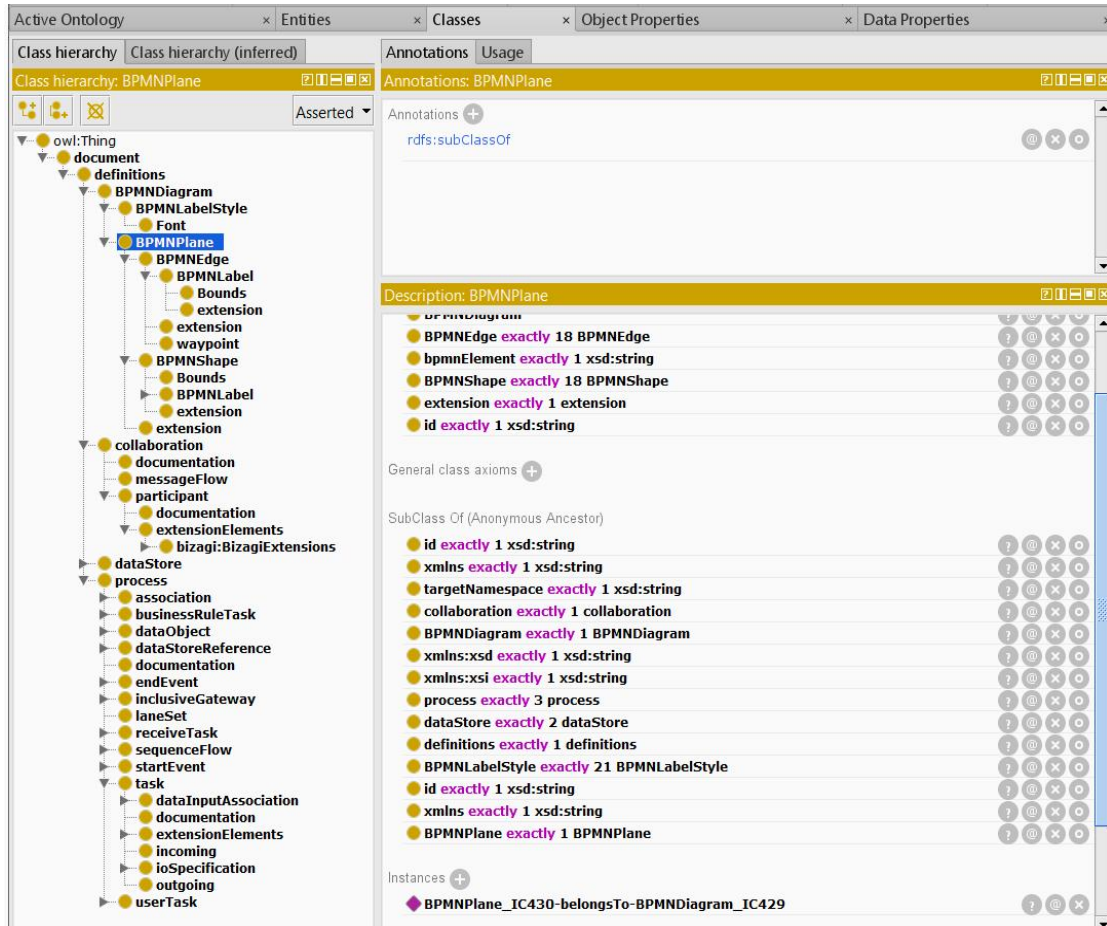


Рис. 4. Візуалізація конвертованого в OWL-файл сценарію аналітичної діяльності в нотатції BPMN

У конвертованому файлі OWL клас <BPMNEdge> фактично складається з підмножини окремих текстових екземплярів класу, які мають унікальні імена для визначення кожного окремого ребра BPMN-діаграми.

На рис. 5 наведено фрагмент онтографа конвертованого XPDЛ-файлу сценарію, який показує взаємодію класу <BPMNEdge> з його дочірніми класами <BPMNPlane>, <BPMNShape> і <BPMNEdge> при опису ребер спрямованого графа для окремих пулів <Аналітик> і <Пошукова система>.

З рис. 5 видно як спрямований граф (BPMN-діаграма сценарію АнД) в OWL-файлі описується через підмножину (примірників) класу <BPMNEdge>, який описує ребра графа. Причому кожний примірник позначається унікальним ім'ям, яке визначає зв'язок з реальними вузлами графа (елементами BPMN-діаграми), наприклад,

BPMNEdge_IC501-belongsTo-BPMNPlane_IC430.

Подібним чином описуються всі ребра спрямованого графа (BPMN-діаграма сценарію Анд) для кожного окремого пулу цієї BPMN-діаграми.

Характеристика зв'язку між вузлами спрямованого графа визначається через клас <SequenceFlow> OWL-моделі, який співвідноситься з графічним елементом BPMN «Потік управління» (Sequence flow) та позначається відповідним унікальним номером ідентифікатора.

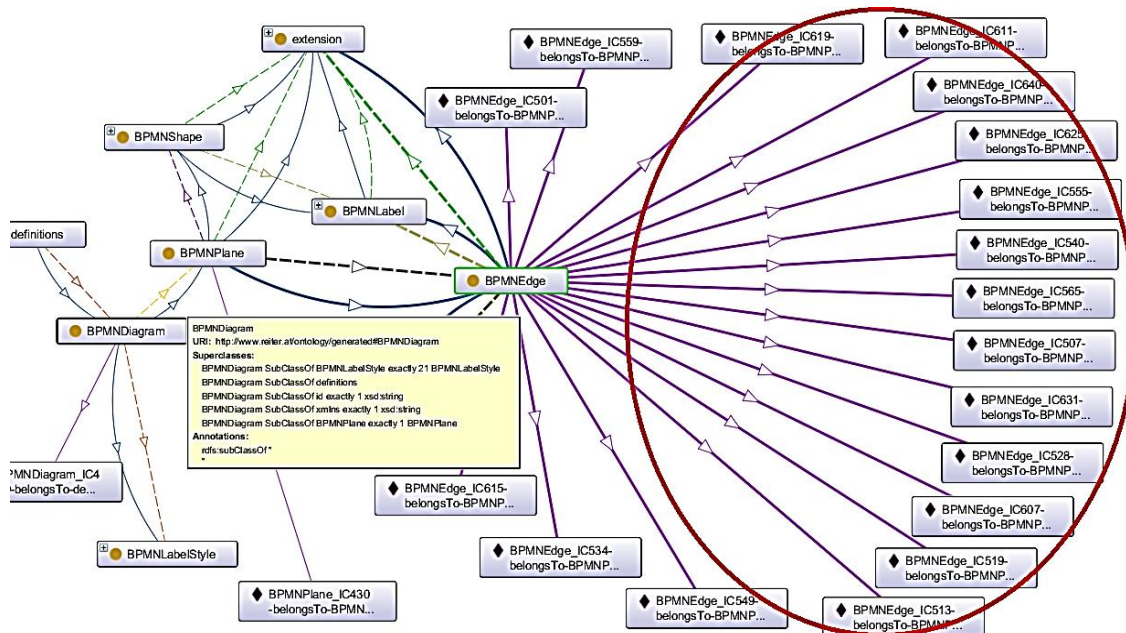


Рис. 5. Фрагмент онтографу конвертованого XPDЛ-файлу сценарію

На рис. 6 на прикладі екземплярів *BPMNEdge_IC501-belongsTo-BPMNPlane_IC430* показано, яким чином для цього екземпляру класу <BPMNEdge> задаються параметри для визначення його ID-ідентифікатора.

У подальшому ID-ідентифікатори екземплярів класів використовуються для оцінки якості перетворення BPMN-моделі у відповідний файл OWL

Аналогічним чином визначається підмножина екземплярів класу <BPMNShape>, завдяки яким описуються всі графічні елементи BPMN-діаграми сценарію, що складають пули <Аналітик> і <Пошукова система>.

На рис. 7 наведено приклад застосування механізму змістовного опису параметрів екземпляра класу <BPMNShape> для завдання графічного елемента типу <DataStore> з ім'ям «База знань».

Проведена оцінка якості перетворення BPMN-моделі сценарію Анд у відповідний файл OWL на базі запропонованих критеріїв якості «процесу конвертації моделі BPMN в OWL» показала наступне.

1. Кожний графічний елемент BPMN-моделі з діаграми сценарію <Аналіз запитів> (XML-елемент у файлі XPDЛ) визначається як окремий клас OWL з унікальним ім'ям, що дає можливість його більш детального відображення та дослідження візуальними методами редакторів онтології (зокрема Protégé).

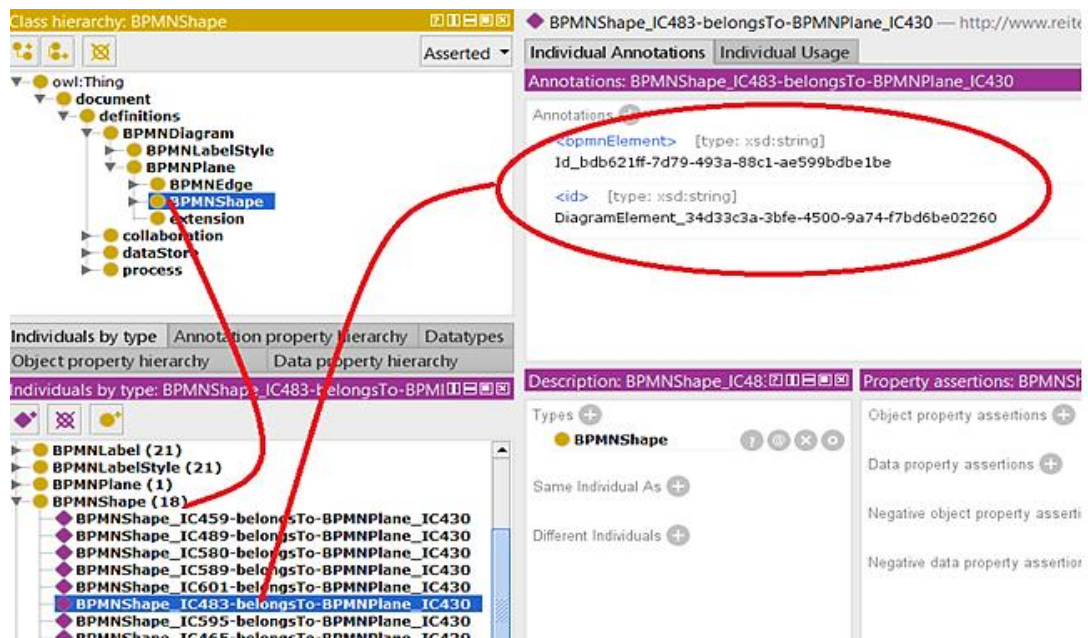


Рис. 6. Приклад завдання параметрів для визначення ID-ідентифікатора екземпляра класу <BPMNEdge>

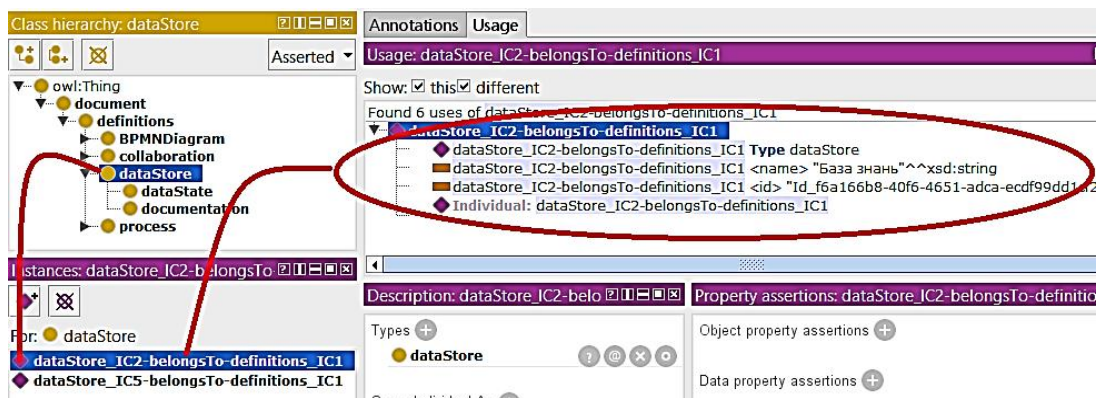


Рис. 7. Приклад застосування механізму змістовного опису параметрів екземпляра класу

2. Кожний процес сценарію <Pool> у BPMN-моделі співвідноситься з відповідним класом онтології <BPMNPlane>, який визначає контейнер, що описує один процес на BPMN-діаграмі в OWL-моделі та має відповідне ім'я.

3. Кожний клас OWL-моделі описується певними властивостями (<Data properties> або <Object properties>), які асоційовані з відповідними XML-атрибути графічних елементів у вхідному файлі XPDЛ-моделі сценарію <Аналіз запитів>.

4. Кожен вузол спрямованого графа $Gr(Bp_N)$ (графічний елемент на BPMN-діаграмі сценарію) в онтології представлено відповідним екземпляром класу <BPMNShape>, які зв'язуються через екземпляри класу <BPMNEdge> та супроводжуються унікальними іменами OWL-моделі, що співвідноситься з відповідними іменами графічних елементів BPMN-діаграми.

5. Усі обмеження властивостей певних класів онтології співвідносяться з обмеженнями на визначення відповідних графічних елементів BPMN-моделі сценарію та використовуються в аксіомах, завдяки яким виконується онтологічний аналіз та оцінка зв'язаності задач або підпроцесів сценарію.

Таким чином, онтологічний аналіз результатів моделювання на прикладі сценарію <Аналіз запитів> показав принципову можливість порівняння моделей сценаріїв АнД, створених у нотації BPMN-моделі, з конвертованою OWL-моделлю.

Як інструментарій перетворення моделей використовувалася технологія конвертації BPMN-to-S-BPM-Ontology [10], яка є вільно розповсюджуваною та доступною на ресурсі **github.com** — одному із найбільших веб-сервісів для спільної розробки програмного забезпечення [19]. Застосування цієї технології дозволяє без зайвих фінансових витрат установити достатній для порівняння рівень відповідності графічних елементів BPMN-діаграми сценаріїв АнД їхнім онтологічним еквівалентам OWL-моделі сценарію.

Розроблений у нотації BPMN сценарій АнД і перевірений засобами OWL з мінімальним програмуванням серіалізується у формат BPEL (Business Process Execution Language), який виконується в середовищі BPM-систем. Якщо в подальшому виникає необхідність внесення змін у логіку роботи аналітичної системи, модифікації піддається тільки модель сценарію, яка автоматично серіалізується мовою BPEL.

Як інструментарій онтологічного аналізу, а також візуального аналізу можна застосовувати вільно розповсюджуваний редактор онтології Protégé 5 [14].

Висновки

Запропонований теоретичний підхід до моделювання сценаріїв АнД на основі графічних методів нотації BPMN та OWL-моделей показав принципову можливість порівняння моделей сценаріїв АнД, створених у нотації BPMN-моделі, з конвертованою OWL-моделлю сценарію. Для спрощення самого процесу формування сценаріїв залучається графічна нотація BPMN 2 [13], яка дозволяє не тільки моделювати сценарії АнД у вигляді BPMN-діаграм, але й серіалізувати у XML-файл для відпрацювання в комп'ютерному середовищі із залученням стандартного ПЗ BPM-систем. Завдяки конвертації BPMN-моделі, OWL-модель сценарію АнД фактично перетворюється в базу знань організації, яка може розширюватися за рахунок додавання нових сценаріїв АнД.

Отримана OWL-модель сценарію АнД може досліджуватися в інструментальному середовищі будь-якого зі стандартних редакторів онтологій, зокрема платформою Protégé 5. Залучаючи веб-технології, розробник сценарію АнД має можливість більш детально візуалізувати OWL-моделі, а також проводити семантичний аналіз коректності логічно-зв'язаних фрагментів сценарію (особливо багатірвневих), використовуючи інструментарій редакторів онтологій.

Крім того, завдяки залученню OWL технологій, розробник також може формувати запити для аналізу логічно-зв'язаних фрагментів сценарію на природній мові — DL Query, SPARQL Semantic Web Rule Language, що є предметом подальших досліджень авторів.

Запропонований підхід дає низку переваг, починаючи із суттєвого спрощення самого процесу моделювання та верифікації сценаріїв АнД в інтегрованому середовищі BPMN-OWL і закінчуючи реалізацією моделі в середовищі стандартних BPM-систем.

1. Додонов А.Г., Сенченко В.Р., Коваль А.В. Аналитика и знания в компьютерных системах: монография. Киев: ИПРИ НАН Украины, 2020, 314 с.
2. The Basics of Model Driven Architecture, Cephias Consulting Corp. January 2006. URL: https://www.omg.org/mda/mda_files/Cephias_MDA_Fast_Guide.pdf
3. Business Process Management Software. URL: <https://www.capterra.com/business-process-management-software/>
4. ISO/IEC 19510:2013(E) Business Process Model and Notation, Information technology — Object Management Group. URL: <https://www.omg.org/spec/BPMN/ISO/19510/PDF>
5. Robert Singer. An Ontological Analysis of Business Process Modeling and Execution. URL: https://www.researchgate.net/publication/332833270_An_Ontological_Analysis_of_Business_Process_Modeling_and_Execution
6. Marco ROSPOCHER, Chiara GHIDINI and Luciano SERAFI. An ontology for the Business Process Modelling Notation. URL: <https://dkm-static.fbk.eu/resources/ontologies/BPMN/BPMNontology.pdf>
7. Christine Natschlagler Towards a BPMN 2.0 Ontology. URL: https://www.researchgate.net/publication/221448529_Towards_a_BPMN_20_ontology
8. BPMN 2.0 OWL від Institute for Public Policy Research. URL: <https://github.com/reiterma13/IPPR>
9. Ресурс PM2ONTO. URL: <https://github.com/lukasriehl/pm2onto>
10. Ресурс BPMN-to-S-BPM-Ontology. URL: <https://github.com/reiterma13/>
11. Копп А.М., Орловський Д.Л. Подход к анализу и оптимизации моделей бизнес-процессов в нотации BPMN. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2018. № 2. URL: http://www.kb-ametist.com/rus/18_publish/10.pdf. 23.
12. Amina Annane, Nathalie Aussenac-Gilles, Mouna Kamel. BBO BPMN 2 Based Ontology for Business Process Representation. URL: https://oatao.univ-toulouse.fr/25024/1/annane_25024.pdf
13. Business Process Model and Notation v2.0. URL: <https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/PDF>
14. Protégé — Free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems. URL: <http://protege.stanford.edu>
15. Bizagi Modeler, User Guide. URL: <http://help.bizagi.com/process-modeler/en/>
16. Офіційний сайт: Bizagi. URL: <https://www.bizagi.com/en/>
17. Сенченко В.Р., Бойченко О.А., Бойченко А.В. Дослідження методів і технологій інтеграції онтологічної моделі з реляційними даними. *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. 2018. Т. 20. № 3. С. 91–101. DOI: 10.35681/1560-9189.2018.20.3.158518
18. Додонов О.Г., Коваль О.В., Сенченко В.Р., Шпурик В.В. Автоматизована система формування сценарію аналітичної діяльності. *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. 2019. Т. 21. № 1. С. 11–31. DOI: 10.35681/1560-9189.2019.1.1.179167
19. Сайт GitHub. URL: <https://github.com/>
20. Rozman T., Polancic G., Horvat R.V. Analysis of most common process modeling mistakes in BPMN process models. 2008 BPM and Workflow Handbook, 2008. P. 1–15.
21. Tomislav Rozman Proposal of BPMN extensions based on results of ontological analyses of process modelling methods. URL: https://www.researchgate.net/publication/280521358_Proposal_of_BPMN_extensions_based_on_results_of_ontological_analyses_of_process_modelling_methods
22. Cheng P., Lowe R., and Scaife M. Cognitive science approaches to understanding diagrammatic representations. *Artificial Intelligence Review*, 2001.
23. Novogrudska R.L., Globa L.S., Koval O.V., Senchenko V.R. Ontology for Applications Development. Chapter 2. Ontology in Information Science; Book edited by Ciza Thomas. Print ISBN 978-953-51-3887-7. Published: March 8, 2018. P. 29–53. URL: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.74042>

Надійшла до редакції 05.02.2020