

УДК 004.5

О.Г. ДОДОНОВ*, В.Р. СЕНЧЕНКО*, В.Г. ПУТЯТІН*, А.В. БОЙЧЕНКО*, О.В. КОВАЛЬ**

**МЕТОДОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ КОМП'ЮТЕРНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ СЦЕНАРІЇВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

*Інститут проблем реєстрації інформації НАН України, м. Київ, Україна

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Анотація. Сценарний підхід у сфері розробки рішень для військових структур полягає у проведенні дослідження, метою якого є детальний опис діяльності, що дозволяє обґрунтувати і визначити управлінські заходи та уникнути небезпек у майбутньому на основі розгляду якомога більшого спектра варіантів розвитку проблеми. Не дивно, що методологічні питання комп'ютерного моделювання складних сценаріїв і досі залишаються актуальними. У статті автори пропонують підхід до моделювання сценаріїв прийняття рішень на основі графічних методів нотації BPMN, технології Knowledge Graph та OWL-моделей для забезпечення семантичного аналізу розроблюваного сценарію. Як приклад застосування запропонованого підходу обрана задача «Планування бойових дій та управління корабельним з'єднанням». Підхід дозволяє продемонструвати переваги підходу як при формуванні сценарію в цілому, так і на етапах його реалізації на моделюючому комплексі, що імітує роботу функціональних підсистем та складається з модулів, які реалізують задачі кожної підсистеми. Введення онтології в модель сценарію сприяє семантичній узгодженості процесів сценарію та поліпшує структуру моделі сценарію за рахунок виявлення та усунення прихованих помилок і неузгодженостей. Використання графової БД Neo4j (як знання-орієнтованої технології) дозволяє виявляти аномалії в моделях BPMN шляхом аналізу залежностей та взаємозв'язків між елементами, використовуючи графові алгоритми для пошуку відхилень, виявлення циклів, визначення найкоротших шляхів та оптимізації процесів. Запропонована методологія дозволяє суттєво зменшити кількість помилок у моделі сценарію, що в подальшому значно підвищує ефективність моделювання організаційно-функціональної структури та дій посадових осіб при виконанні бойових завдань на моделюючому комплексі. Розглянутий сценарій є одним із сценаріїв, розроблених для моделювання процесів управління корабельним з'єднанням, які складають базу знань сценаріїв моделюючого комплексу. Результати моделювання довели, що моделюючий комплекс може використовуватися для відпрацювання перспективних технологій автоматизованого управління морськими та повітряними силами.

Ключові слова: інформаційні технології, системи підтримки прийняття рішень, сценарне моделювання, BPMN, Neo4j, OWL.

Abstract. The scenario approach in the field of decision-making for military structures implies carrying out research, the purpose of which is a detailed description of activities that allows for confirming and determining management measures and avoiding future dangers based on consideration of the broadest possible range of options for the possible sequences of events. So it is unsurprising that methodological problems in computer modeling of different scenarios are still relevant. The authors of the article propose an approach to modeling decision-making scenarios based on graphic methods of BPMN notation, Knowledge Graph technology, and OWL models to provide a semantic analysis of the developed scenario. As an example of the offered approach to the development of a decision-making scenario, the task «Planning of combat operations and management of the naval unit» has been chosen. The approach lets

the authors demonstrate the advantages of the approach both during the formation of the scenario in general and at the stages of its implementation with a simulation complex that simulates the work of functional subsystems and consists of modules completing the tasks of each subsystem. The introduction of an ontology into the scenario model contributes to the semantic consistency of the scenario processes and improves the structure of the scenario model by identifying and eliminating hidden errors and inconsistencies. Using the Neo4j graph database (as a knowledge-based technology) allows for visualizing and detecting anomalies in BPMN models by analyzing dependencies and relationships between the elements and using the graph algorithms to find deviations, identify cycles, determine the shortest paths, and optimize processes. The proposed methodology makes it possible to significantly reduce the number of errors in the scenario model, which subsequently significantly increases the effectiveness of modeling the organizational and functional structure and actions of officials when performing combat tasks with the simulation complex. The considered scenario is one of many others developed to explore the management processes of a naval unit that make up the knowledge base of the simulation complex scenarios. The simulation results have proven that the simulation complex can be used to work out a promising automated control technology for naval and air forces.

Keywords: *information technologies, decision support systems, scenario modeling, BPMN, Neo4j, OWL.*

DOI: 10.34121/1028-9763-2023-3-65-88

1. Вступ. Постановка проблеми

Формування сценаріїв прийняття рішень зазвичай характеризується ітераційністю самого процесу розробки та розгляду рішень. Особливо це стосується військової сфери, де ціна помилки може бути занадто високою [1]. Тому не дивно, що методологічні питання комп'ютерного моделювання складних сценаріїв і досі залишаються актуальними [2, 3], що є підґрунтям для породження нових підходів і технологій моделювання та верифікацій сценаріїв.

Останнім часом при моделюванні сценаріїв зростає інтерес до залучення підходів і технологій, притаманних BPM-системам (Business Process Management), – структурованого та формального характеру мов моделювання [4]. Де за аналогією з бізнес-процесами модель сценарію може бути представлена сукупністю процесних моделей, які взаємодіють між собою в рамках загального сценарію. Через процесні моделі прописуються причинно-наслідкові залежності, які в подальшому визначають динаміку зміни стану об'єкта дослідження та умови, в яких ці зміни відбуватимуться [5, 6]. Загалом сценарій дозволяє розглядати кілька можливих майбутніх випадків замість того, щоб покладатися лише на один варіант розвитку при дослідженні невизначеностей і прийняття стратегічних рішень у середовищі, яке швидко змінюється. Це допомагає приймати більш обґрунтовані рішення, оскільки враховує різні невизначеності та ризики.

Метою статті є розробка та дослідження методології моделювання сценаріїв формування управлінських рішень, яка дозволяє відпрацювати організаційно-функціональну структуру, підвищити ефективність та узгодженість дій посадових осіб при виконанні посадових завдань, змодельовати взаємодію всіх учасників сценарію як у штатному режимі, так і у режимі виникнення різних нештатних ситуацій.

У представлений статті автори розглядають саме методологічні та технологічні аспекти моделювання сценаріїв прийняття рішень на основі графічних методів нотації BPMN, технології Knowledge Graph та OWL-моделей для забезпечення семантичного аналізу сценарію, що розробляється. Це дозволяє уникнути більшості помилок, пов'язаних із семантичною сумісністю функціональних компонентів, даними та процесами, а також програмними модулями, що завжди виникають при реалізації складних сценаріїв.

2. Передумови та пов'язані з ними роботи

Сценарій у сфері розробки рішень для військових структур полягає у проведенні дослідження, у ході якого будується кілька альтернативних варіантів сценаріїв розвитку пробле-

ми за заданими просторовими та часовими обмеженнями. Метою такого дослідження є детальний опис діяльності, що дозволяє обґрунтувати та визначити управлінські заходи і уникнути небезпек у майбутньому на основі розгляду якомога більшого спектра варіантів розвитку проблеми з урахуванням протилежних стратегій зацікавлених сторін [7].

Моделювання ґрунтується на розумінні сценарію як сукупності логічного, послідовного, взаємозалежного набору подій, фактів, даних розвідки, аналітичних процедур над даними, IP та знаннями з метою отримання кінцевого результату, що відповідає висунутим вимогам до сценарію в цілому [8]. Під методологією створення моделі сценарію прийняття рішень розуміється сукупність методів і технологій, за допомогою яких об'єкти та суб'єкти сценарію (задачі, процеси, підпроцеси, виконавці, ролі, інформація, дані, програмні модулі, логічні оператори, умови логічних переходів тощо), а також зв'язки між ними, представляються у вигляді моделі, яка сприймається людиною та яку можна досліджувати в різних вимірах, включаючи й знання-орієнтовані технології [9].

На даний час існує багато підходів до комп'ютерного моделювання сценаріїв прийняття рішень [9, 10], але автори цієї статті дотримуються процесно-орієнтованої методології, заснованої на систематичному аналізі. На думку авторів ця методологія більш відповідає вимогам, що висуваються до військових структур, оскільки дозволяє зосереджуватися на розумінні причинно-наслідкових зв'язків між різними чинниками (подіями, факторами, процесами та змінами середовища).

Відмітна особливість процесно-орієнтованого підходу полягає в тому, що розробка сценарію ведеться в термінах предметної області (ПрО) з використанням знань (метаданих) про типові задачі та програмні модулі, що їх реалізують у моделюючому комплексі. Таким чином, розробник зосереджується не на програмуванні виконуваного коду, а на вдосконаленні моделі сценарію з позиції людського фактора та цілеспрямованості дослідження. Графічне подання сценарію «Visual Paradigm» [11] суттєво спрощує сприйняття сценарію та розуміння кроків і робіт при моделюванні процесу підготовки рішень у цілому.

Задля спрощення самого процесу формування сценаріїв у «Visual Paradigm» залучаються графічні методології, зокрема, нотація BPMN 2.0 (Business Process Model and Notation) [12]. На даний час існує декілька доступних інструментальних засобів, які підтримують як функції моделювання BPMN 2.0, так і виконувану модель – це Bizagi Modeler, ARIS BPM, SAP Signavio, Visual Paradigm Modeler, IBM Blueworks Live, Sparx Systems Enterprise Architect та навіть хмарні засоби Lucidchart.

При моделюванні вживаються категорії понять BPMN 2.0, які дозволяють досить повно визначити сценарії прийняття рішень через графічні елементи нотації. До таких категорій відносяться:

- {Fo} – Flow objects. Категорія, що об'єднує графічні елементи Event, Task, Sub-Process та Gateway, описи процесів, події, задачі, функції та умови переходів у моделях сценарію;

- {Co} – Connecting objects. Категорія елементів, до яких входять Sequence Flow, Message Flow, Association, що дозволяють визначити інформаційну взаємодію між елементами моделі сценарію;

- {Sw} – Swimlanes, яка являє собою категорію, що дозволяє у графічному вигляді визначити окремі процеси, ролі та межі дії для кожного учасника сценарію через елементи Pool та Lane;

- {Ar} – Artifacts складається з елементів Data Object, Text Annotation та Group, що використовуються для позначення та детального опису інформаційних об'єктів сценарію.

Кінцевим результатом формування сценарію є не лише діаграма в нотації BPMN 2.0 (графічна модель сценарію), а й знання-орієнтована XML-модель і виконувана модель, що серіалізується в XPDЛ-файл (XML Process Definition Language). З позиції знання-

орієнтованих технологій, XML-модель сценарію описується кортежем, який інтерпретує підмножину взаємопов'язаних елементів зі складу основних категорій нотації:

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

де $\{V(Bp_N)\}$ – множина вузлів графа сценарію $Gr(Bp_N)$, яка, у свою чергу, відображується через категорії елементів нотації, що описують конкретний сценарій:

$$V(Bp_N) = \{Tk_n \cup St_n \cup In_n \cup Fn_n \cup Gt_n \cup Ar_n \cup Sw_n\},$$

де $\{Tk_n\}$ – підмножина вершин, що представляють задачі сценарію (елементи Task, Sub-Process);

St_n – вершини стартових подій сценарію (Start Event);

$\{In_n\}$ – підмножина вершин, що представляють собою проміжні події (Intermediate events); $\{Fn_n\}$ – підмножина вершин, що представляють кінцеві події (End Event);

$\{Gt_n\}$ – підмножина вершин – шлюзів (Gateway) моделі сценарію, які асоціюються з логічними операторами переходів;

$\{Ar_n\}$ – підмножина вершин, що визначає інформаційні ресурси (Data Object, Data Store, Message, Text Annotation);

$\{Sw_n\}$ – підмножина, що визначає окремі процеси, ролі та межі дії для кожного учасника сценарію (Pool, Lane);

$\{E(Gr)\}$ – множина ребер, які зв'язують вершини в направленні ребра графа сценарію.

Зв'язування вершин здійснюється через категорію з'єднувальних об'єктів $\{Co\}$ (Sequence Flow, Message Flow, Association), де матриця суміжності ребер графа для n вершин графа має вигляд

$$E(Gr) | \subseteq |V(Bp_N) \times V(Bp_N)|.$$

$\{L(v)\}$ – множина міток вершин, які дозволяють однозначно визначати кожному вершину $V(Bp_N)_i$ у XML-моделі сценарію графа $Gr(Bp_N)$;

$\{Id(v)\}$ – функція розмітки вершин, яка дозволяє визначати унікальні імена для кожної вершини сценарію, використовуючи граматичні правила XML. Функція має вигляд $Id(v): V(Bp_N) \rightarrow L(v)$;

$\{Rul^{(Bp)}\}$ – множина логічних правил, через які графічні елементи 2.0 зв'язуються в Pool і визначають умови настання переходів Gt_n у шлюзах моделі;

$p(v): E(Gr) \rightarrow [0,1]$ – булева функція, яка зіставляє значення ймовірності ребрам, що зв'язують вершини елементів BPMN-моделі сценарію.

Застосування графічних методів моделювання сценаріїв навіть за стандартом ISO/IEC 19510 [19] не виключає появи семантичних помилок (неузгодженостей), які виникають у тому числі внаслідок суб'єктивного сприйняття аналітиком особливостей ПрО. Найбільш типовими є такі:

- недостатньо чітко визначені умови настання кінцевих подій $\{Fn_n\}$ (End Event) або проміжних подій (Intermediate events) $\{In_n\}$, що призводить до виключення подій із процесу <Process Flow> або невірному виконанню процесу;

- недостатньо зв'язані задачі $\{Tk_n\}$, оскільки не враховані особливості різних об'єктів потоку (задачі, підпроцеси, шлюзи, події) і правила їхнього з'єднання;

• у документах, що описують переходи, нечітко визначені складні (багатофакторні) умови поділу процесу шлюзами <Gateway> на кілька маршрутів – ребер. Тобто булеві змінні в нотації BPMN типу $p(v): E(Gr) \rightarrow [0,1]$ не коректно формують умови переходів із залученням механізму тригерів подій у шлюзах, що призводить до семантичних неузгодженостей при реалізації сценарію.

Саме тому пропонується BPMN-модель сценарію доповнювати онтологічною OWL-моделлю сценарію [8] та технологією Knowledge Graph для семантичного аналізу розробленого сценарію, використовуючи механізми мережеских асоціацій, які засновані на знаннях. Конвертація BPMN-моделі сценарію у граф властивостей із позначкою Neo4J (LPG) [7], а також в OWL-модель, в якій OWL-сутності моделі співвідносяться з відповідними графічними елементами BPMN-моделі сценарію. Додавання цих засобів дозволяє здійснювати аналіз семантичної невідповідності умов переходів між кроками розгалуженого сценарію.

У контексті дослідження сценаріїв управлінських рішень використання графової БД Neo4j дозволяє візуалізувати та виявляти аномалії у моделях BPMN шляхом аналізу залежностей і взаємозв'язків між елементами, використовуючи графові алгоритми для пошуку відхилень, виявлення циклів, визначення найкоротших шляхів та оптимізації процесів. Вони також використовуються для збереження BPMN-моделей і їх елементів, таких як задачі, процеси, події, виключення та залежності. Графова структура Neo4j може бути інтегрована з іншими системами для обміну даними та синхронізації змін у моделях. Neo4j пристосована для застосування як централізована БД для управління та спільної роботи з моделями BPMN з різних інструментів або систем.

Крім того, Neo4j може бути використаний для побудови та управління онтологічними моделями для опису знань та відношень між концептами у сценарному моделюванні [7, 9], щоб представити концепти, відношення та атрибути у формі вузлів, ребер і властивостей. Візуалізація онтологічних моделей засобами Neo4j сприяє зрозумінню та аналізу онтології сценарію та відображає концепти, залежності та взаємозв'язки між ними у вигляді графів, що допомагає виявляти структурні залежності та шаблони.

За допомогою мови запитів Neo4j Cypher можна виконувати складні запити до онтологічної моделі сценарію. Це дозволяє здійснювати пошук, фільтрацію, агрегацію та аналіз даних, що базуються на онтологічних концептах і взаємозв'язках.

Вбудовані засоби Neo4j дозволяють розширювати та модифікувати онтологічні моделі сценарію, додавати нові концепти, відношення та властивості до графової структури без необхідності перебудови всієї моделі.

3. Моделюючий комплекс для реалізації сценарію формування управлінських рішень

Як приклад застосування запропонованого методологічного та технологічного підходу до формування сценарію прийняття рішень обрано задачу «Планування бойових дій та управління корабельним з'єднанням». Корабельне з'єднання (КЗ) формується як тимчасове або постійне формування з метою вирішення широкого спектра завдань, починаючи від захисту морських сполучень і портів і закінчуючи підтримкою сухопутних військ і захистом берегових об'єктів від ударів із повітря. Це є типовою задачею завдання удару по десантному угрупованню противника для унеможливлення захвату території противником.

Згідно зі сценарієм задачі «Планування бойових дій та управління корабельним з'єднанням» перед КЗ вищим командуванням ставиться завдання забезпечення висадки морського тактичного десанту на встановлені плацдарми, яке має здійснюватися шляхом блокування дій тактичної авіації на вказаних аеродромах базування. Оскільки запропонований сценарій відображає військовий аспект управлінських рішень, то цілком зрозуміло, що він корелюється з концепцією автоматизованого управління як безпосередньо діями самого КЗ, так і силами та засобами, що супроводжують КЗ.

Вирішення такого складного завдання, як підготовка управлінських рішень для дій реального КЗ, потребує залучення широкого спектра методів імітаційного та математичного моделювання. Для цього використовуються можливості Моделюючого комплексу (МК АСУ КЗ), розробленого та створеного в ІПРІ НАН України [13, 14]. МК АСУ КЗ являє собою сукупність математичних методів, аналітичних та імітаційних моделей, алгоритмів, технічних засобів і програмних модулів, що реалізують функціональні підсистеми, комплексні та функціональні задачі (ФЗ) для підготовки обґрунтованих управлінських рішень. Процес підготовки та управління КЗ на МК АСУ КЗ являє собою послідовність кроків сценарію, який реалізується визначеною послідовністю виконання ФЗ на автоматизованих робочих місцях посадових осіб різних рівнів управління КЗ. Для завдання вхідних даних, що імітують всі види обстановки та інформаційної взаємодії з зовнішніми системами, в МК АСУ КЗ створено відповідні імітатори.

Обчислювальний комплекс МК АСУ КЗ має у своєму складі:

- сервер обробки та відображення інформації про обстановку в районі дії КЗ;
- сервер рішення ФЗ управління на підставі розрахунків імовірності виникнення кожного з варіантів розвитку сценарію КЗ залежно від настання суттєвих подій;
- сервер планування та моделювання діями сил і засобів КЗ;
- сервер імітації, що забезпечує вирішення задач імітації дій противника, підлеглих, доданих, взаємодіючих сил і засобів КЗ, вищого КП;
- сервер баз даних і комунікаційний сервер для вирішення задач обміну даними з зовнішніми абонентами в заданому протоколі обміну.

Структура моделюючого комплексу КЗ включає спеціалізоване ПЗ, що імітує роботу функціональних підсистем (посадових осіб різного рангу), а саме: штурманського забезпечення, управління ударними силами та засобами, протиповітряною та протиракетною обороною, управління протичовновою та протимінною обороною, управління бойовим забезпеченням, інформаційне забезпечення, а також інші допоміжні підсистеми. У свою чергу, спеціалізоване ПЗ функціональних підсистем складається з підмножини програмних модулів, що реалізують ФЗ, для кожної підсистеми.

Слід нагадати, що сам процес формування сценарію взаємодій різних за фахом посадових осіб КЗ, як правило, ітераційний. Тому до складу МК додається робоче місце аналітика, що оснащено графічним редактором BizAgi Modeler [17]. Цей редактор дозволяє побудувати та візуалізувати сценарій за стандартом методології BPMN. Оскільки елементи нотації мають стандартні позначення та строго визначену семантику, то візуальне представлення сценарію сприймаються як фахівцем, так і керівником. Перевагою технології BizAgi Modeler є вбудовані функції, що дозволяють серіалізувати BPMN-сценарій у файли різних форматів XML, XPDL та BPMN. Всі ці формати базуються на синтаксисі мови XML, тому результати моделювання дуже просто публікуються у Web-браузері або засобами SharePoint. Тобто, крім візуальної моделі сценарію, редактор BizAgi Modeler може генерувати супроводжувальну документацію в форматах MS Word, MS Excel, або PDF.

Використання Neo4J (LPG) у складі АРМ аналітика надає знання графоорієнтованим запитам мовою Cypher до моделі сценарію для виявлення пустих зв'язків, вилучення підграфів, дослідження умов виконання циклічних задач.

Для формування коректної моделі складного сценарію бажано мати додатковий формальний опис – семантичну OWL-модель (мовою XML) для взаємодії з нотацією BPMN. OWL-модель здатна доповнювати та пояснювати графічні діаграми BPMN на смислового рівні та виявляти семантичні невідповідності переходів між кроками сценарію, а також проводити семантичний аналіз умов виконання задач сценарію та логічних операторів їхнього виконання. Взаємодія між моделями будується на двосторонньому відображенні між XML-файлом нотації BPMN.

На рис. 1 показано взаємодію аналітика з засобами моделювання та аналізу скритих помилок у сценарії.



Рисунок 1 – Взаємодія аналітика з засобами моделювання та аналізу сценарію

Виходячи зі специфіки предметної області, в МК КСУ КЗ реалізовано понад 700 функціональних задач. Для спрощення самого процесу моделювання управлінських рішень створено базу знань МК, де ФЗ описується метаданими. Так, кожна ФЗ має унікальний номер та найменування, які співвідносяться з функціональними підсистемами МК (управління ударними силами та засобами, протиповітряною та протиракетною обороною) й містять рекомендації щодо їхнього використання при формуванні сценарію послідовності кроків із моделювання реалістичності управлінських рішень.

Враховуючи складність процесів підготовки прийняття рішень, у сфері управління КЗ функціональні задачі групуються. Наприклад, виконання <Task> із назвою «Радіолокаційна та радіотехнічна обстановка в зоні дії КЗ» потребує залучення виконання спеціалізованих ФЗ зі складу МК КСУ КЗ, які враховують особливості моделювання предметної області:

3.6.4-1 – «Узагальнення даних, оцінка повітряної обстановки в районі дій КЗ на користь радіолокаційної та гідроакустичної розвідки»;

3.6.4-2 – «Узагальнення даних, оцінка надводної обстановки в районі дій КЗ на користь радіолокаційної та гідроакустичної розвідки»;



3.6.4-3 – «Узагальнення даних, оцінка підводної обстановки в районі дій КЗ на користь радіолокаційної та гідроакустичної розвідки»;

3.6.4-4 – «Узагальнення даних, оцінка радіоелектронної обстановки в районі дій КЗ на користь радіолокаційної розвідки»;


3.6.2-1 – «Збір, обробка, оцінка стану та готовності до виконання поставлених завдань підлеглих та наданих сил і засобів радіолокаційної розвідки повітряних та надводних цілей».

Приклад представлення метаданих, що описують різні типи ФЗ (формування даних про обстановку, формування замислу та ін.) та етапи побудови сценарію, представлені в табл. 1. Для більш коректного застосування Аналітиком МК ФЗ метадані доповнюються візуальними документами, що суттєво спрощує їхнє сприйняття.



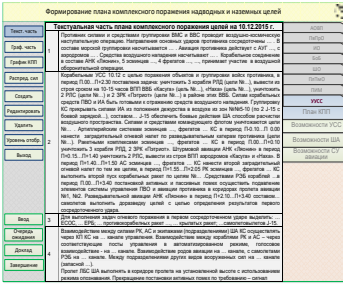
Таблиця 1 – Приклад представлення метаданих, що описують різні типи ФЗ (формування даних про обстановку, формування замислу та ін.) та етапи побудови сценарію

Належність до етапу	Номер і найменування ФЗ	Опис дій посадових осіб, що реалізують процес управління	Опис результатів рішення ФЗ	Взаємодія з ФЗ
Формування даних про обстановку	3.12.6 «Імітація інформації про базування, склад та оснащення противника»	Введення даних про склад, базування і оснащення засобів повітряного нападу противника та наземного противника (дані про склад, базування і оснащення засобів противника – наземні, повітряні, морські)	Результати рішення ФЗ – занесення в базу даних інформації про склад, базування і оснащення сил та засобів противника. 	3.6.4.5, 3.7.11.1
Формування замислу	3.7.6-1а – «Формування замислу дії ударних сил і засобів КЗ при нанесенні повітряних та ракетних ударів по заданих надводних та наземних цілях»	Внесення результатів рішення ФЗ 3.7.6-2а до таблиці тактичних дій. Формування та відправлення формалізованих розпоряджень на запуск ФЗ з оцінки своїх сил на моделюючому комплексі: 3.7.4-1, 3.7.4-2	Результати рішення ФЗ 3.7.6-2а. Вид таблиці тактичних дій із результатами рішення. 	3.7.4-1, 3.7.4-2

Продовж. табл. 1

Належність до етапу	Номер і найменування ФЗ	Опис дій посадових осіб, що реалізують процес управління	Опис результатів рішення ФЗ	Взаємодія з ФЗ
			<p>Вид формалізованих розпоряджень для оформлення замислу операції, яка планується, 3.7.4-1.</p> 	
Планування польотів	3.7.7-2г – «Планування маршрутів польотів ударних груп штурмової авіації КЗ для знищення наземних та надводних цілей на основі рішення командира КЗ»	Прокладання маршрутів польоту ударних груп з урахуванням маневрування при зборі та розпуску груп, маневрування та збору груп у районі завдання авіаційних ударів	Маршрути польотів ударних груп і їхнього відображення на GIS-основі.	3.7.7-2а
Спеціальні розрахунки	3.7.7-3з – «Проведення спеціальних розрахунків щодо визначення координат точок прицілювання на основі рішення командира КЗ»	Визначення координат точок прицілювання для компактних групових цілей	Результати рішення ФЗ у вигляді таблиці координат.	3.12.9-3
Моделювання варіантів рішень	3.7.6-3б – «Проведення на підставі результатів моделювання спеціальних розрахунків»	Оцінка ефективності деталізованих варіантів моделювання на підставі спеціальних розрахунків при виконанні комплексу ФЗ	Інформаційна модель результатів рішення задачі проведення спеціальних розрахунків і відображення моделі на GIS-основі.	3.7.7-1б

Продовж. табл. 1

Належність до етапу	Номер і найменування ФЗ	Опис дій посадових осіб, що реалізують процес управління	Опис результатів рішення ФЗ	Взаємодія з ФЗ
	для оцінки ефективності різних варіантів завдання ударів силами та засобами КС із надводних і наземних цілей»			
Формалізоване розпорядження	3.7.8-2 – «Формування плану комплексного враження надводних та наземних цілей»	Запуск диспетчера з управління вирішенням завдань формування окремих планів: 3.7.7-3и; 3.7.7-3д; 3.7.7-2и; 3.7.7-2л. Формування та відправка формалізованих команд на запуск ФЗ: 3.7.7-3и; 3.7.7-3д; 3.7.7-2и; 3.7.7-2л. Після отримання результатів вирішення перелічених завдань здійснюється формування об'єднаного плану комплексного вогневого ураження та завершення виконання завдання	<p>Формалізоване розпорядження на запуск ФЗ з оцінки району та потенційних об'єктів удару.</p>  <p>План комплексного вогневого ураження для прийняття рішень.</p> 	3.7.11-2, 3.7.7-3к, 3.7.8-3, 3.7.8-4, 3.7.8-5, 3.7.12-1

4. Формування сценарію моделювання задачі «Планування бойових дій та управління корабельним з'єднанням»

Методологія проектування сценарію прийняття рішень у BPMN 2.0 із залученням технології Knowledge Graph NEO4J + Cypher та онтології OWL-SPARQL дотримуватиметься положень, які співвідносяться з методологією BPMN [11, 15].

1. На семантичному розумінні та опису (можливо, вербальному) цілі сценарію, що може формуватися через відповіді на основні питання:

- Яка головна мета побудови сценарію?
- Що є кінцевим результатом виконання сценарію?
- Які завдання та функції мають бути виконані для досягнення мети сценарію, включаючи розбивку завдань за різними етапами та виконавцями?
- Які управляючі дії необхідні для досягнення мети сценарію?
- Які інформаційні ресурси, бази даних і знань потрібні для виконання завдань і функцій сценарію?

2. Представлення сценарію як комбінації графічних елементів нотації BPMN 2.0. (завдання, процеси, підпроцеси, виконавці, ролі, інформація, дані, ПЗ, логічні оператори, умови логічних переходів тощо), пов'язаних між собою для досягнення мети побудови сценарію.

3. Представлення сценарію у вигляді візуальної діаграми (графа), в якій відображається функціональна взаємодія графічних елементів BPMN 2.0. Взаємодія елементів сценарію описується через правила визначення ребер та умов переходів логічних операторів (Gateway), а також визначається, коли і яким чином функціональна взаємодія між графічними елементами здійснюється.

4. Об'єднання різних типів процесів BPMN: Private Process – для опису потоку операцій у рамках окремого процесу; Public Process – відображення взаємодії між приватними процесами, процесами взаємодії між акторами (Choreography).

5. Дотримання концепції ітераційного моделювання або ітераційна розробка сценарію. Це передбачає розбиття складного сценарію на більш дрібні, керовані частини та постійне вдосконалення рішення через повторювані цикли аналізу, проектування та оцінювання. Процес повторюється, доки не буде досягнуто бажаного результату, що приводить до більш надійного та ефективного кінцевого варіанта сценарію.

6. Точність виконання правил опису задач, процесів, графічних елементів та їх взаємодії. З кожною ітерацією розробник сценарію може зосередитися на доопрацюванні та оптимізації окремих частин рішення. Це приводить до вищої якості кінцевого сценарію порівняно з початковим варіантом сценарію.

7. Конвертація BPMN-моделі сценарію в LPG-модель для пошуку шляху та навігації у вузлах моделі сценарію, вилучення підграфів, виявлення пустих зв'язків і дослідження умов виконання циклічних задач сценарію та коригування BPMN-моделі з результатами дослідження.

8. Конвертація BPMN-моделі сценарію в OWL-модель та здійснення аналізу виявлення й усунення семантичних невідповідностей з урахуванням умов переходів між кроками сценарію, семантичний аналіз умов виконання задач складного сценарію та логічних операторів їхнього виконання.

9. Публікація результатів моделювання сценарію у вигляді супроводжувальних документів у форматах PDF, MS Word, MS Excel або Web, SharePoint для подальшої реалізації у середовищі МК КСУ КЗ.

Дотримуючись запропонованої вище методології, розробку моделі сценарію доцільно починати з визначення глибини та масштабу моделі процесу.

За наявними розвідувальними даними, противник збирається завдати масованих авіаційних ударів по конвоях морських тактичних десантів на етапі їхнього висунання морем із метою їхнього вогневого ураження на встановлених рубежах і недопущення висадки. Дії авіаційного угруповання противника прикривають сили протиповітряної оборони в установленому складі та при розкритому бойовому порядку цих сил.

Командиром КС приймається рішення здійснити блокування тактичної авіації противника шляхом завдання одночасних авіаційних ударів по аеродромах противника з метою виведення з ладу злітно-посадкових смуг аеродромів і пошкодження (знищення) максимальної кількості літальних апаратів противника на землі. З метою зниження рівня втрат

штурмової авіації від дії системи ППО противника прийнято рішення про попереднє вогневе придушення сил і засобів ППО противника шляхом нанесення ракетних ударів по розкритих позиціях зенітних, ракетних і радіотехнічних військ противника.

На підставі задуму бойових дій відпрацьовуються рішення на бойові дії і план застосування сил і засобів КС при вирішенні завдань комплексного вогневого ураження наземних і надводних об'єктів супротивника.

Для створення та редагування безпосередньо моделі сценарію використовувався графічний редактор BizAgi Process Modeler Version 4.0 (рис. 2).

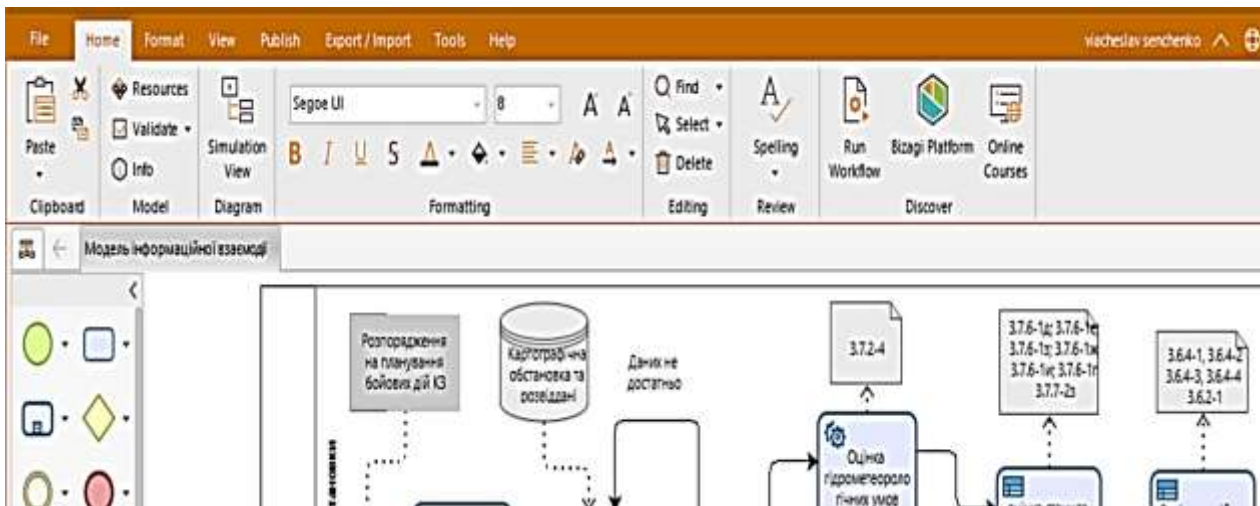


Рисунок 2 – Інструментальна панель графічного редактора BizAgi Process Modeler 4.0

Підготовка сценарію щодо планування застосування сил і засобів КЗ, безумовно, ітераційний процес, першим кроком якого є визначення унікальної назви сценарію.

Виходячи з загального уявлення про завдання та функції, які мають бути виконані для досягнення мети сценарію, визначаються учасники сценарію (participant) і їх ролі з узгодженням розподілу робіт між учасниками. Також визначаються правила та умови взаємодії учасників сценарію, виходячи з розподілу ролей та прав доступу до інформаційних ресурсів (Data Object, Data Store, Message, Text Annotation).

У нашому випадку це розбивка послідовності кроків сценарію на логічно пов'язані етапи (рішення головного завдання сценарію), а саме: оцінка обстановки; формування задуму та варіантів рішення; прийняття рішення та деталізація; планування сценарію дій КЗ; формування та передача доповідей і розпоряджень. Механізмом, який дозволяє це реалізувати, є елемент <Lane> нотації – група елементів, яка простягається по всій довжині пулу, вертикально чи горизонтально, та яка поєднує в собі семантично зв'язані задачі, підпроцеси, шлюзи та інші елементи, що виконуються в межах сфери. Кожна <Lane> позначається унікальним ім'ям. Незважаючи на те, що <Lane> BPMN дуже схожі на нотації інших процесів, вони представляють зовсім інший спосіб мислення, який пояснюється походженням BPMN у світі автоматизації процесів [11].

Відповідно до положень стандарту ISO/IEC 19510 [8], будь-який процес у нотації BPMN починається зі стартової події <Start Events>. Для цього з палітри <Events> перетягується елемент <Start Events> до головного пулу, використовуючи механізм «drag-and-drop». Як стартові, так і проміжні та кінцеві події обов'язково супроводжуються поясненнями, які визначають умови його виникнення та розкривають семантику процесів.

Для додавання задач сценарію з панелі <Activities> обирається графічний елемент <Task> (рис. 3), якому надається унікальна назва. BizAgi Modeler розрізняє сім типів <Task>, що можуть виконуватися як безпосередньо користувачем, так і зовнішніми проце-

сами. Кожний елемент <Task> супроводжується інформацією, яка містить тип задачі. В реалізації графічного редактора BizAgi Process Modeler 4.0 передбачені 7 типів задач, кожна з яких має особливості. Наприклад, <Receive Task> доповнюється умовами старту при надходженні очікуваного сповіщення. Нотація BPMN надає можливість виконувати <Task> у режимі циклічного повторення. Оскільки певний тип задачі може виконуватися в різних частинах сценарію, в моделі сценарію завдання одного типу описуються через механізм екземплярів (примірників), які мають унікальне ім'я та семантику. Примірники завдань семантично асоціюються з окремими учасниками сценарію (participant) або окремими процесами, які описуються конкретними умовами виконання. Це дуже часто пов'язано з застосуванням логічних операторів <Gateway> та тригерів, які саме і визначають умови переходів.

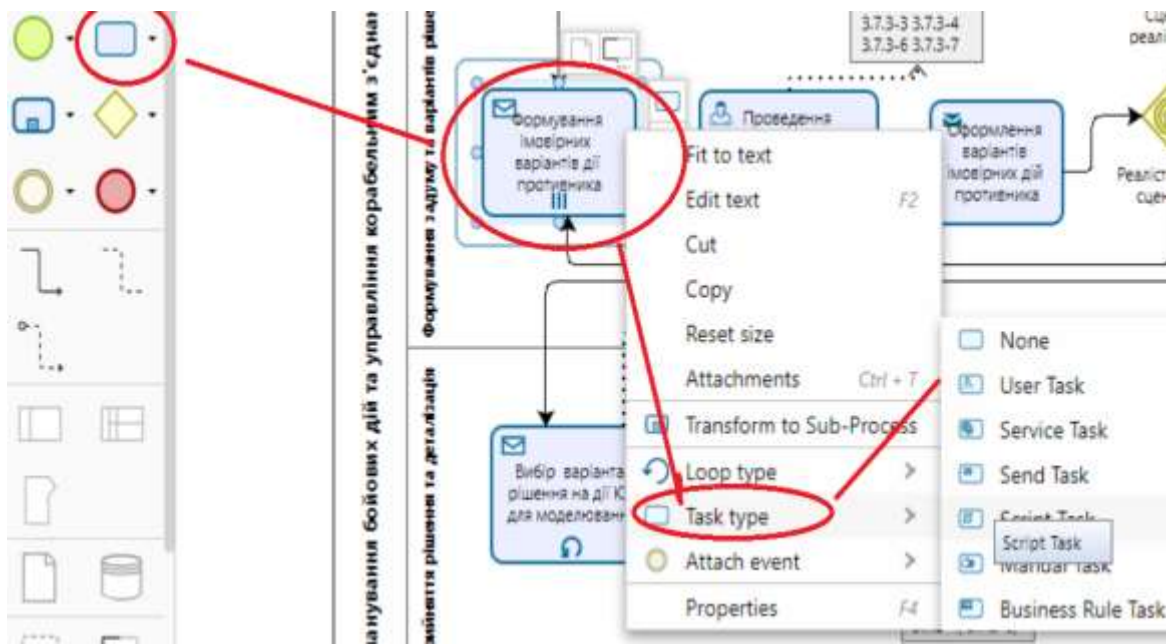


Рисунок 3 – Приклад застосування механізму завдання параметрів елемента <Task> при формуванні сценарію

Для відображення взаємодії між учасниками сценарію використовується клас <Message>, який через набори потоків повідомлень описує передачу повідомлень або об'єктів як у межах одного рівня сценарію, так і при взаємодії різних рівнів.

Через класи <Data Store> та <Data Objects> описується, які бази даних, документи, дані та функціональні задачі МК КСУ КЗ використовуються для реалізації сценарію, включаючи й посилання на метадані ФЗ моделюючого комплексу.

Приклад відображення сценарію задачі «Планування бойових дій та управління корабельним з'єднанням» у нотації BPMN показано на рис. 4. Відповідно до початкових умов сценарій має 1 <Pool> і 5 ролей, які на діаграмі визначені через клас <Lane> та які семантично співвідносяться з етапами планування бойових дій типу «Оцінка обстановки» та ін.

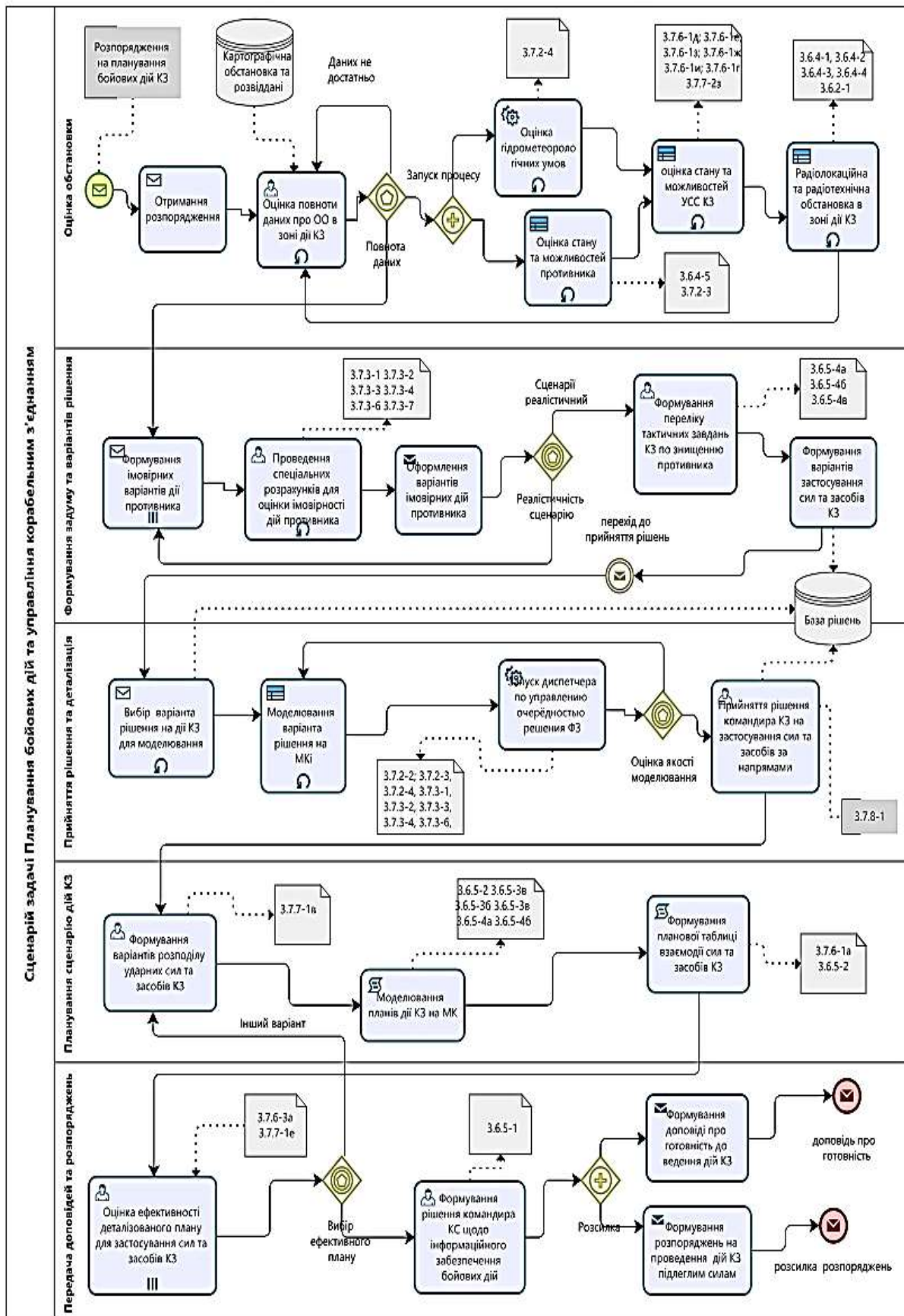


Рисунок 4 – Відображення сценарію у вигляді діаграми в нотатції BPMN 2.0

Для створення коректної моделі сценарію (особливо для багаторівневих сценаріїв) бажано, щоб кожний графічний примітив BPMN супроводжувався ретельним описом властивостей, що суттєво поліпшує опис сценарію на семантичному рівні. Нижче наведено фрагмент XML-файла моделі сценарію задачі «Планування бойових дій та управління корабельним з'єднанням», що експортовано до файла формату XPDL (XML Process Definition Language), який автоматично генерується Bizagi Modeler.

```

</Object>
</DataStore>
</DataStores>
<Pools>
  <Pool Id="a3fa9c3a-688b-45a1-aea2-29ecdcd54683" Name="Main Process"
Process="9261c707-cb8e-4e6d-a817-4f5da71a9820" BoundaryVisible="false">
  <Lanes />
  <NodeGraphicsInfos>
    <NodeGraphicsInfo ToolId="BizAgi_Process_Modeler" Height="350"
Width="700" BorderColor="-16777216" FillColor="-1">
      <Coordinates XCoordinate="30" YCoordinate="30" />
      <TextDirection xsi:nil="true" />
    </NodeGraphicsInfo>
  </NodeGraphicsInfos>
</Pool>
  <Pool Id="8b73bc64-17bf-41c1-913d-5c41a4d3f84c" Name="Сценарій задачі Пла-
нування бойових дій та управління корабельним з'єднанням" Process="0c0a4fa2-e377-40b7-
8667-8ab7932b9b03" BoundaryVisible="true">
  <Lanes>
    <Lane Id="3cbc00e9-04dc-4833-add3-7ee13fe06d97" Name="Оцінка обстанов-
ки" ParentPool="8b73bc64-17bf-41c1-913d-5c41a4d3f84c">
      <NodeGraphicsInfos>
        <NodeGraphicsInfo ToolId="BizAgi_Process_Modeler" Height="287"
Width="892" BorderColor="-11513776" FillColor="-1">
          <Coordinates XCoordinate="50" YCoordinate="0" />
          <TextDirection xsi:nil="true" />
        </NodeGraphicsInfo>
      </NodeGraphicsInfos>
      <ExtendedAttributes />
    </Lane>
    <Lane Id="39eb5b99-7daf-4113-9ec2-324322f0a8c4" Name="Формування задум-
у та варіантів рішення" ParentPool="8b73bc64-17bf-41c1-913d-5c41a4d3f84c">
      <NodeGraphicsInfos>
        <NodeGraphicsInfo ToolId="BizAgi_Process_Modeler" Height="231"
Width="892" BorderColor="-11513776" FillColor="-1">
          <Coordinates XCoordinate="50" YCoordinate="287" />
          <TextDirection xsi:nil="true" />
        </NodeGraphicsInfo>
      </NodeGraphicsInfos>
      <ExtendedAttributes />
    </Lane>
    <Lane Id="4ec111b5-3e43-4e22-ba2d-2d58e9d223aa" Name="Прийняття рішен-
ня та деталізація" ParentPool="8b73bc64-17bf-41c1-913d-5c41a4d3f84c">

```



```

<NodeGraphicsInfos>
  <NodeGraphicsInfo ToolId="BizAgi_Process_Modeler" Height="200"
Width="892" BorderColor="-11513776" FillColor="-1">
  <Coordinates XCoordinate="50" YCoordinate="518" />
  <TextDirection xsi:nil="true" />
  </NodeGraphicsInfo>
</NodeGraphicsInfos>
<ExtendedAttributes />
</Lane>
<Lane Id="75fbd8de-5d1a-4a73-8a1e-0c317597c951" Name=" Планування сце-
нарію дій КЗ" ParentPool="8b73bc64-17bf-41c1-913d-5c41a4d3f84c">
  <NodeGraphicsInfos>

```

Запропонована технологія на базі BPMN дозволяє публікувати результати моделювання у вигляді документів у форматах PDF, MS Word, MS Excel або Web, SharePoint, які описують усі графічні елементи сценарію, а також їхні екземпляри з відповідними ідентифікаторами. Для створення супроводжувальної документації потрібно перейти до вкладки <Publish> (рис. 5) панелі головного меню редактора Bizagi Modeler та обрати формат публікування. Приклад відображення змісту згенерованого документа, який супроводжує сценарій, показано на рис. 6.

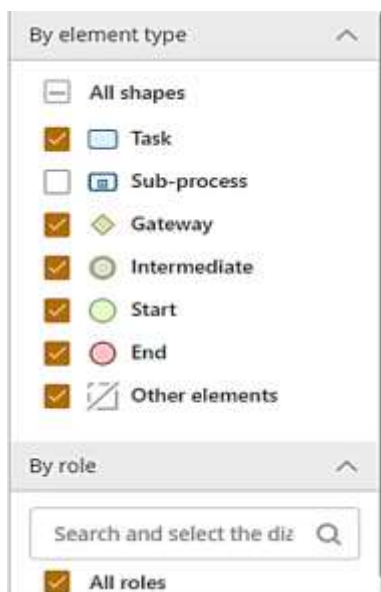


Рисунок 5 – Вибір умов публікації документа

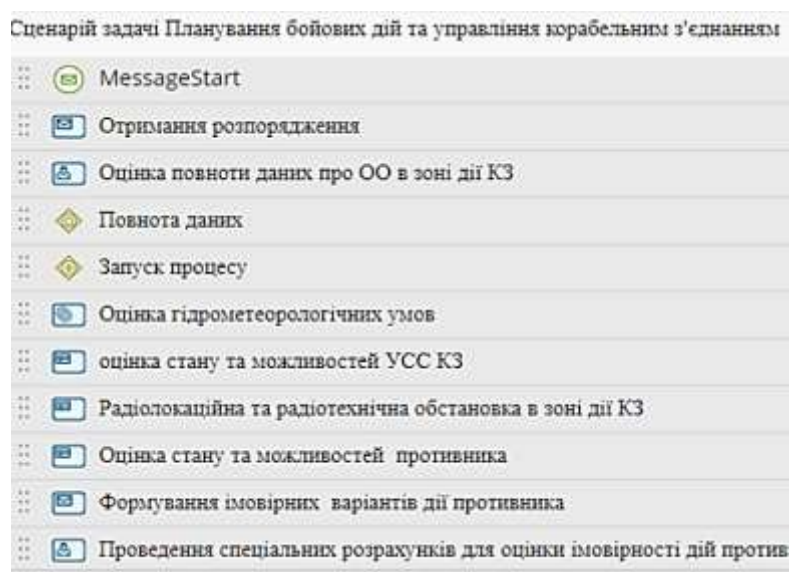


Рисунок 6 – Приклад відображення змісту згенерованого документа, що супроводжує модель сценарію

У прагматичному підході до моделювання складних сценаріїв автори статті дотримуються застосування вже відпрацьованих технологій конвертації моделей BPMN 2.0 XML у формат представлення знань Neo4j (формат GraphML). XML – це ієрархічна структура, яка потребує відповідного відображення елементів у дереві XML на вузли графа Neo4j, тому XML-файл перетворюється у формат GraphML або CSV, а потім завантажується в Neo4j за допомогою одного з існуючих способів. На даний час є кілька способів конвертації BPMN 2.0 XML-файла у формат GraphML. Одним із способів є використання XSLT (Extensible Stylesheet Language Transformations) для перетворення файлу XML у формат GraphML [13]. Іншим способом є використання такої бібліотеки, як bpmn-moddle, яка читає та записує BPMN 2.0 XML з JavaScript [14]. Ця бібліотека використовує метамодель BPMN

2.0 для перевірки синтаксису вхідних даних і створення коректного XML-відображення моделі BPMN 2.0. Використовуючи цю бібліотеку, отримуємо модель сценарію у форматі GraphML для аналізу її у середовищі Neo4j.

Серіалізована таким чином модель сценарію BPMN 2.0 XML семантично співвідноситься з моделлю у форматі представлення знань Neo4j (рис. 7), а саме:

$\{S_w_n\}$ – підмножина, що визначає окремі процеси, ролі та межі дії для кожного учасника сценарію, співвідноситься з елементами BPMN-моделі Pool та Lane (5). Поділ процесів на 5 елементів BPMN <Lane> відповідає уявленню аналітика про послідовність етапів моделювання управлінських рішень для КЗ, які включають такі етапи:

- 1) оцінка обстановки;
- 2) формування задуму та варіантів рішення;
- 3) прийняття рішення та деталізація;
- 4) планування сценарію дій КЗ;
- 5) формування та передача доповідей і розпоряджень.

$\{Tk_n\}$ – підмножині вершин (Node) задач моделі сценарію відповідає сутність Activity (22 Node в GraphML-моделі сценарію), що відображаються у графічній базі Neo4j. Семантично це інтерпретується як 22 Node екземплярів класу <Task> з унікальними іменами, які співвідносяться з іменами BPMN-моделі сценарію;

$St_n, \{In_n\}, \{Fn_n\}$ – підмножині стартових, проміжних і кінцевих подій сценарію відповідає сутність Event (4 Node в GraphML-моделі сценарію) бази Neo4j з відповідними іменами події та умовами їхнього настання;

$\{Gt_n\}$ – підмножині вершин шлюзів і логічних переходів моделі сценарію відповідає сутність Gateway (6 Node) моделі Neo4j, які теж поіменовані у відповідності з BPMN-моделлю сценарію;

$\{Ar_n\}$ – підмножині вершин, що визначає інформаційні ресурси, які потрібні для вирішення завдань з іменами класу <Task>, відповідають сутності Data Store (2) та Functional_Task (36 Node в GraphML-моделі сценарію) у графічній базі Neo4j. Сутність Functional_Task містить вершини графа, що показують, які ФЗ моделюючого комплексу використовуються при вирішенні кожного з завдань з іменами класу <Task>.

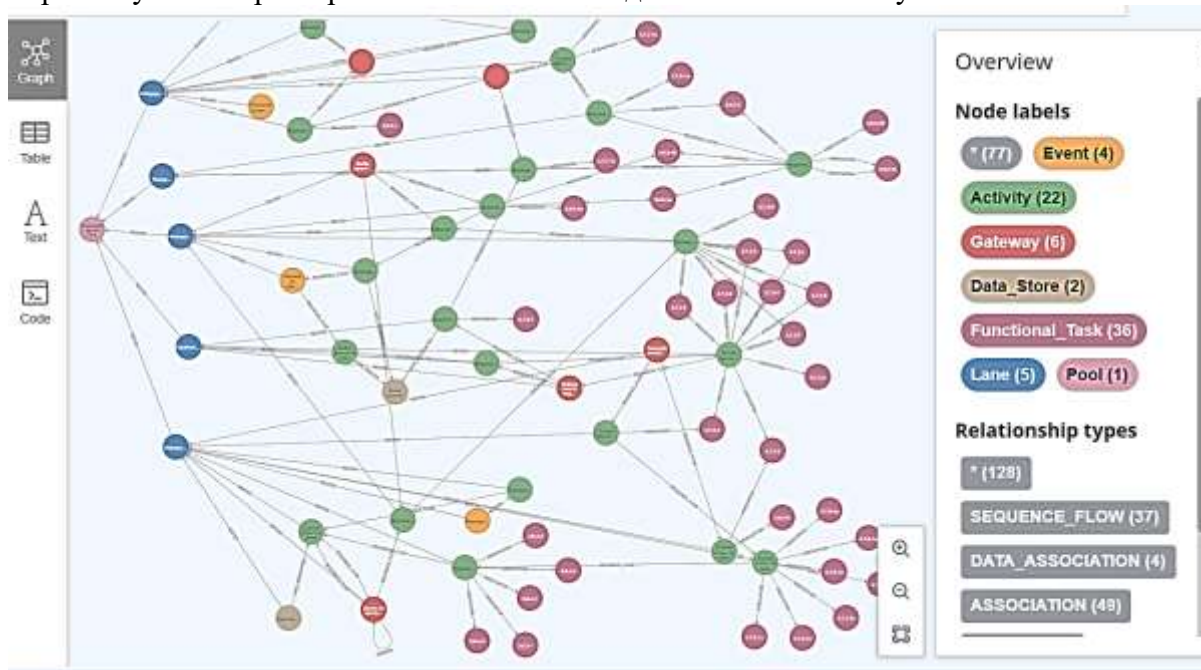


Рисунок 7 – Відображення моделі сценарію BPMN 2.0 XML у форматі представлення знань Neo4j

Формування семантичних запитів до GraphML-моделі сценарію в Neo4j виконується за допомогою мови запитів Cypher [21]. Ця мова спеціально розроблена для запитів і маніпулювання даними, що зберігаються у графовій базі даних Neo4j. Синтаксис Cypher аналогічний мові запитів SQL, і є основним інтерфейсом бази Neo4j. Доступ до даних Neo4j виконується за допомогою Браузера Neo4j, який підтримує такі команди HTTP REST: :delete, :get, :head, :post і :put. Ці команди використовуються для формування складних запитів до даних Neo4j через HTTP API інтерфейс [8]. Нижче наведено приклад формування запиту мовою Cypher для знаходження у сценарії ситуації зациклення на вершинах графа.

```

"
MATCH p=(n)-[*]->(n)
WHERE length(p) = 1
RETURN p
"

```

На рис. 8 наведено приклад виявлення невідповідності умов переходів елемента <Gateway> в моделі BPMN 2.0 XML та його відображення на графі моделі сценарію у вигляді петлі на вершині.

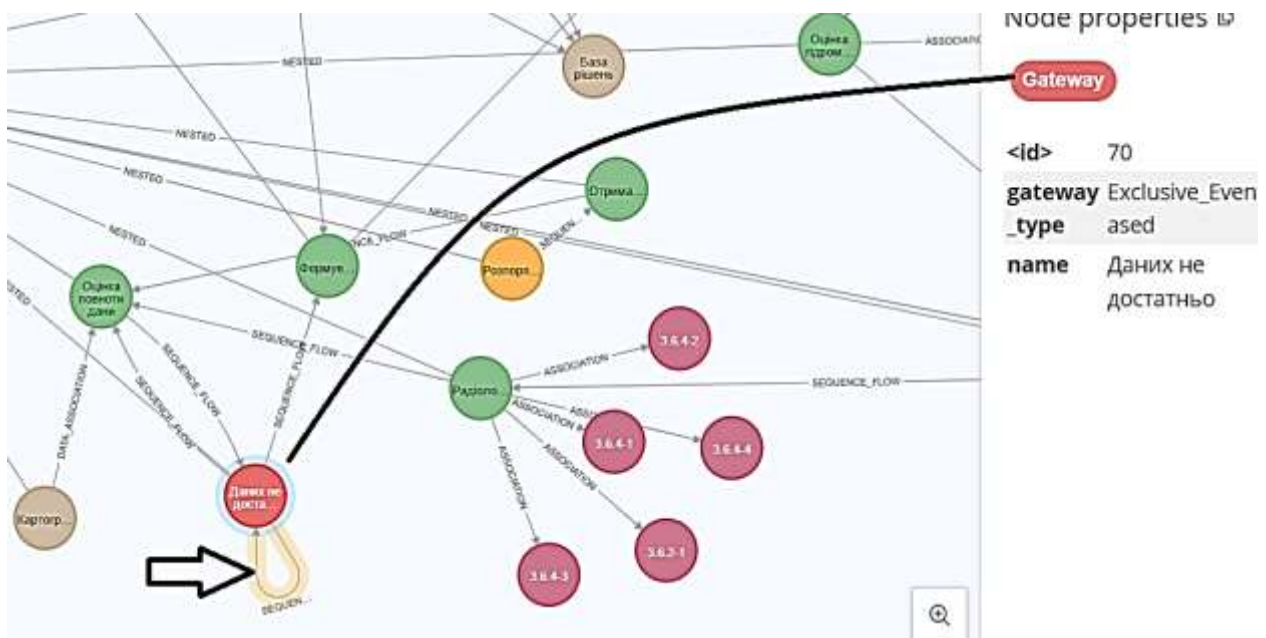


Рисунок 8 – Приклад виявлення невідповідності умов переходів елемента <Gateway> в моделі BPMN 2.0 XML при дослідженні її методами Neo4j

Головною перевагою графічного відображення моделі сценарію в Neo4j є можливість здійснення семантичного аналізу, який передбачає розуміння значення та зв'язків між елементами даних. Графова структура наочно відображує семантичні зв'язки, які реально існують у BPMN-моделі. А мова запитів Cypher від Neo4j забезпечує формування інтуїтивно зрозумілого запиту для виявлення невідповідностей семантичних зв'язків між вузлами графа моделі сценарію.

Для підтвердження теоретичних положень онтологічного дослідження сценаріїв, а також реалізації моделей сценарію й отримання практичних переваг обрано технологію конвертації BPMN-to-S-BPM-Ontology [22]. Серіалізований сценарій при переході від BPMN до S-BPM OWL містить такий набір сутностей, який дозволяє вважати онтологію достатньою та несуперечною для виконання семантичних досліджень моделі сценарію. У серіалізованій моделі кожний графічний елемент BPMN-моделі сценарію (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) із елементом BPMN 2.0. У табл. 2 наведено основні співвідношення, які визначають критерії достатності та несуперечності між BPMN та OWL-моделями.

Таблиця 2 – Основні співвідношення, які визначають критерії достатності та несуперечності між BPMN та OWL-моделями

Елемент BPMN-моделі	Відповідний клас OWL
<StartEvent>	<bpmn2:startEvent>
<MessageEndEvent>	<bpmn2:messageEventDefinition>
<EndEvent>	<bpmn2:endEvent>
<FlowElement>	<bpmn2:messageFlow> представлена ієрархією <bpmn2:incoming> <bpmn2:outgoing>
<Task>	<bpmn2:task> представлена ієрархією <bpmn2:userTask> <bpmn2:receiveTask> <bpmn2:sendTask>
<Gateway>	<bpmn2:exclusiveGateway>
<Plane>	<bpmn2:participant> представлена ієрархією <bpmndi:BPMNPlane> <bpmndi:BPMNDiagram> <bpmndi:BPMNEdge> <bpmndi:BPMNLabel> <bpmndi:BPMNLabelStyle> <bpmndi:BPMNShape>
<DataAssociation>	<bpmn2:definitions>

Як інструментарій онтологічного аналізу, а також візуальний аналіз, нами використовувався вільно розповсюджуваний редактор онтології Protégé 5 [12]. Семантичний аналіз у редакторі онтології Protégé відноситься до процесу автоматичного виведення нових знань або виявлення потенційних невідповідностей в OWL-моделі сценарію на основі аксіом і зв'язків, визначених в онтології. Наочний приклад невідповідностей в OWL-моделі сценарію наведено на рис. 9, коли редактор знаходить Load Error у вхідному файлі OWL-моделі сценарію. Це свідчить про наявність скритих семантичних помилок у сценарії, які розробник не може бачити при побудові BPMN-моделі, але які виявляються, як правило, на етапах реалізації сценаріїв у вигляді помилкових кроків сценарію.

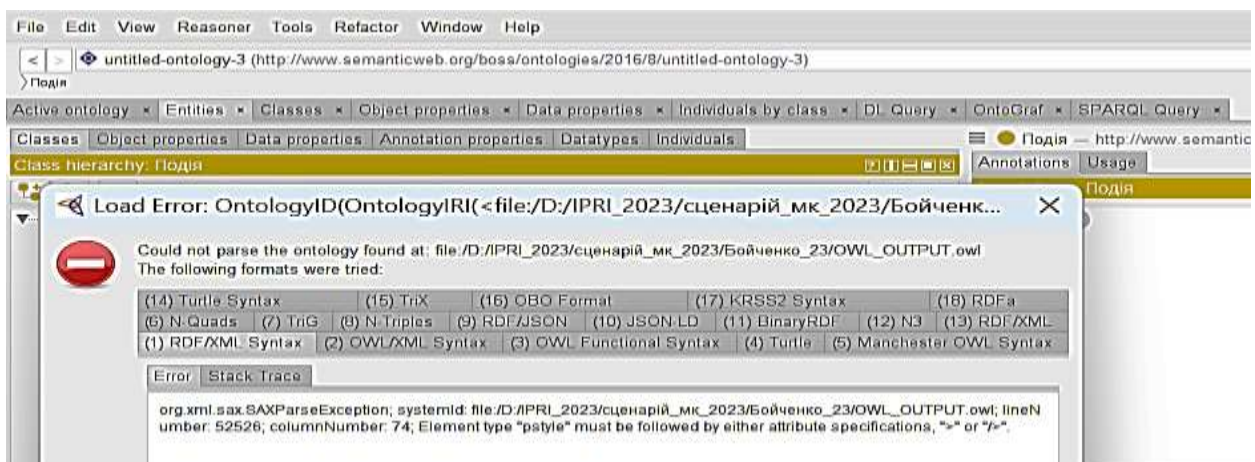


Рисунок 9 – Приклад виявлення невідповідностей в OWL-моделі сценарію при застосуванні редактора Protégé 5

Редактор Protégé 5 пропонує кілька функцій для підтримки семантичного аналізу, включаючи класифікацію, перевірку узгодженості, висновки на підставі проведення SPARQL-запитів для отримання конкретної інформації про класи та осіб.

Класифікація – це процес організації екземплярів (примірників) і класів в онтології в ієрархію на основі їхніх логічних зв'язків. Програма резонер, що вбудована в Protégé 5, робить висновок про відношення підкласу до суперкласу на основі отриманих аксіом підкласу та еквівалентного класу в онтології сценарію. На рис. 10 наведено відображення конвертованої BPMN-моделі у вигляді таксономії класів OWL-моделі сценарію, яка відображає ієрархію відносин класів. Класи OWL-моделі сценарію співвідносяться з відповідними елементами в BPMN-моделі та позначені іменами, які теж співвідносяться з оригіналом.

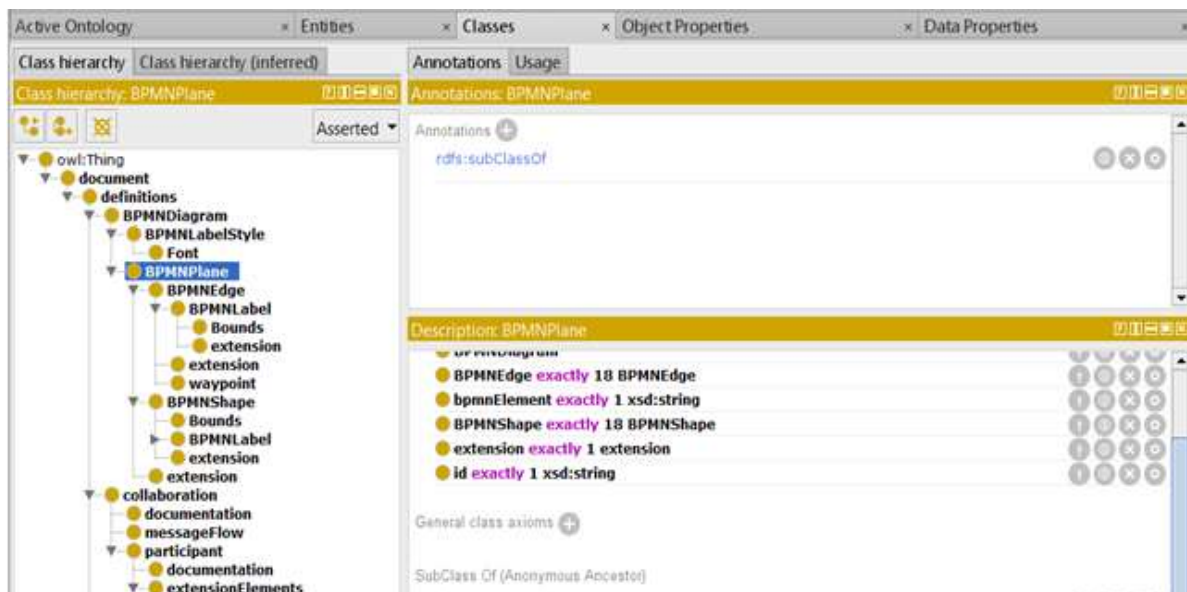


Рисунок 10 – Візуалізація таксономії класів OWL-моделі сценарію із прив'язкою до елементів нотатції

Перевірка узгодженості дає відповідь на питання, чи відповідає конвертована OWL-модель сценарію правилам і обмеженням мови онтології OWL 2? Непослідовна онтологія сценарію містить суперечності, що унеможливають отримання коректних висновків при проведенні семантичного аналізу.

Використовуючи SPARQL- або DL-запити, аналітик звертається до онтології сценарію як до бази знань проєкту для отримання конкретної інформації про властивості класів та екземплярів. Наприклад, це перелік усіх задач <Task> та їхніх екземплярів (рис. 11), з яких складається конкретний сценарій, ФЗ моделюючого комплексу, умов їхнього використання або умов виконання переходів елементів <Gateway> (логічних операторів) в BPMN-моделі сценарію.

Інструментарій Protégé дозволяє розробнику сценарію аналізувати семантику онтології, виявляти неузгодженості та використовувати отримані знання для покращення не лише структури онтології (OWL-моделі сценарію), а й поліпшувати структуру моделі за рахунок виявлення та усунення неузгодженостей. Інструментарій резонера Protégé може виявити невідповідності в онтології, наприклад, клас є одночасно підкласом і окремим екземпляром іншого класу, що призводить до логічних протиріч як в OWL-моделі, так і в BPMN-моделі сценарію. Тобто семантичний аналіз за допомогою вбудованого резонера допомагає переконатися, що онтологія є логічно узгодженою, а це додає аналітику впевненості в коректності опису процесів і взаємодії різних рівнів сценарію.

Не має сенсу нагадувати, що всі семантичні невідповідності та неузгодженості, що виявлені технологією Knowledge Graph (NEO4J+Cypher) та методами семантичного аналізу (OWL + SPARQL), приводять до корекції BPMN-моделі сценарію і обов'язково відображаються в супроводжувальній документації на сценарії. Застосування знання-орієнтованих технологій при моделюванні складних сценаріїв привело до суттєвого зменшення кількості помилок, яких припускається аналітик, за рахунок усунення невідповідностей і неузгодженості.

Основні етапи моделювання сценарію прийняття рішень на МК АСУ КЗ наведено в табл. 3. Кожен етап забезпечується виконанням визначених ФЗ на відповідних АРМ операторів моделюючого комплексу. За результатами вирішення, визначених у сценарії ФЗ, формується послідовність управлінських рішень, яка враховує специфіку предметної області та включає план бойових дій, команди з управління силами та засобами КЗ.

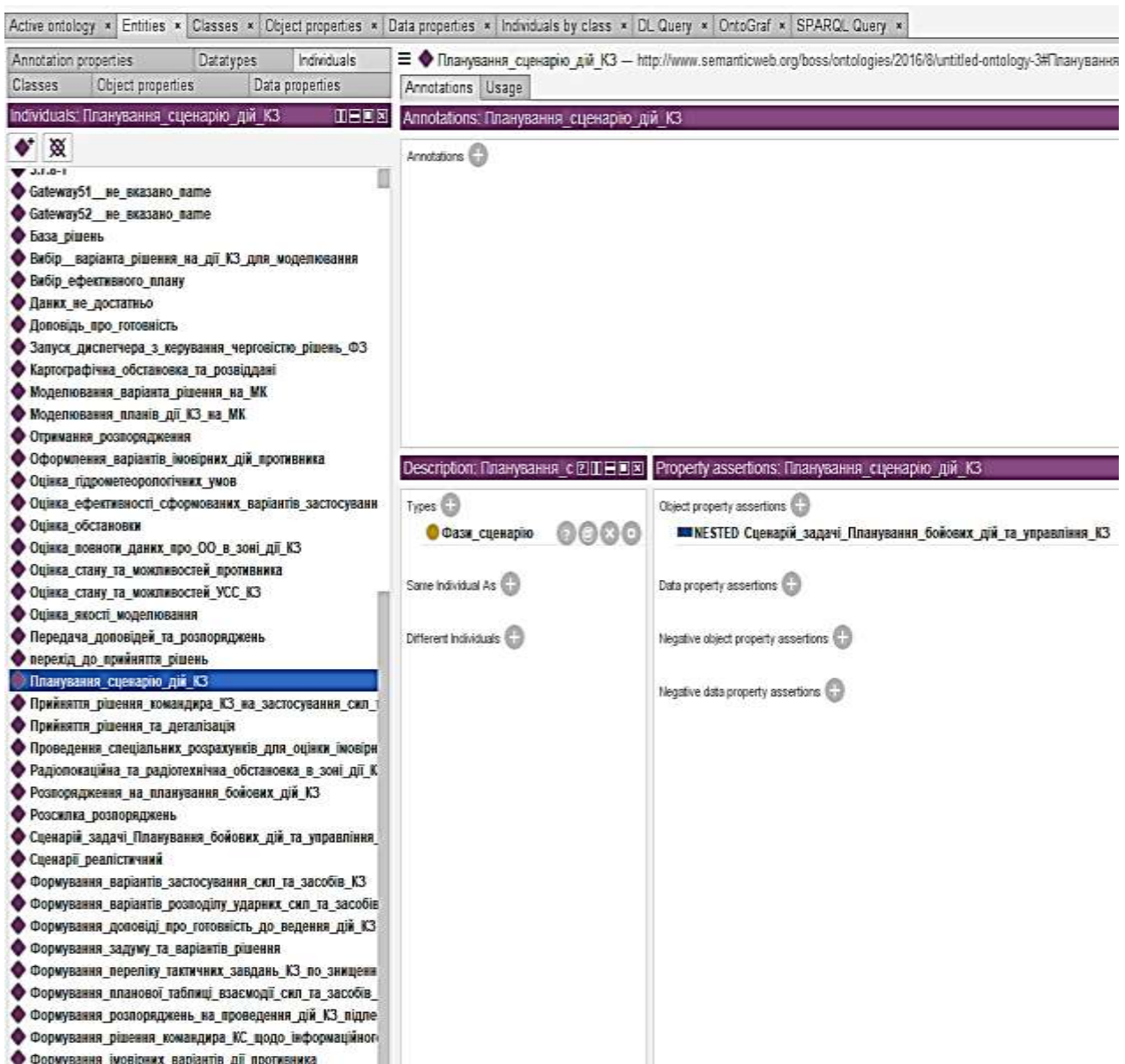


Рисунок 11 – Приклад відображення переліку задач <Task> та їхніх екземплярів для семантичного аналізу засобами Protégé 5

Таблиця 3 – Основні етапи моделювання сценарію прийняття рішень на МК АСУ КЗ

№ з/п	Найменування етапу сценарію
<i>Підготовка та планування бойових дій КЗ</i>	
1	Отримання бойового розпорядження та планування бойових дій із відображенням району бойових дій, складу сил і засобів противника, ймовірного вогневого контакту з надводними силами; передбачуваного маршруту прямування надводних сил морського десанту противника, передбачуваних районів його висадки, маршрутів польотів і задач ракетноносної авіації противника
2	Оцінка обстановки
3	Підготовка даних щодо варіантів виконання задач КЗ під час виходу з пункту постійної дислокації
4	Формування корабельних пошуково-ударних груп, визначення параметрів ордера та маршрутів руху кораблів на виході з пункту постійної дислокації
5	Підготовка управлінських рішень з урахуванням сформованих груп: <ul style="list-style-type: none"> – визначення порядку використання авіації; – визначення порядку взаємодії протичовнової авіації і кораблів КЗ; – визначення порядку маневрування та строю кораблів КЗ
6	Підготовка даних щодо варіантів забезпечення дій КЗ під час виходу з пункту постійної дислокації
7	Вибір раціональних варіантів виходу з пункту постійної дислокації
8	Підготовка даних щодо варіантів нанесення ракетно-авіаційного удару
9	Підготовка даних щодо варіантів нанесення ракетно-авіаційного удару без урахування забезпечуючих дій
10	Підготовка даних щодо варіантів виконання дій забезпечення (штурманського забезпечення, інформаційного забезпечення)
11	Вибір раціональних варіантів нанесення ракетно-авіаційних ударів з урахуванням забезпечуючих дій
12	Деталізація обраних варіантів нанесення ракетно-авіаційних ударів
13	Підготовка даних щодо переходу в район виконання бойової задачі
14	Вибір раціонального варіанта ведення протиповітряної оборони на переході без урахування забезпечуючих дій
15	Підготовка даних щодо варіантів виконання дій забезпечення на переході в район виконання бойової задачі
16	Вибір раціональних варіантів застосування протиповітряної оборони з урахуванням забезпечуючих дій
17	Оформлення плану бойових дій КЗ у вигляді мережевого графіка дій КЗ, підлеглих сил і засобів
<i>Ведення бойових дій</i>	
18	Приведення сил у готовність, висування, рух у складі кільватерних колон. <ul style="list-style-type: none"> • Відображення обстановки на АРМ операторів (повітряна, надводна та підводна), що сформована в результаті вирішення ФЗ шляхом узагальнення різномірної координатно-об'єктної інформації, яка надходить від багатьох джерел, та мультирадарної обробки даних. • Формування потрібної кількості винищувачів і задання параметрів для забезпечення безперервності управління авіацією та цілерозподілом. • Формування команди для обслуговування палубної авіації. • Координація спільних дій взаємодіючих винищувачів і палубної авіації. Спільними зусиллями сил КЗ і взаємодіючої винищувальної авіації зірвано висадку

Продовж. табл. 3

	морського десанту противника
19	Приведення КЗ у похідний порядок і проходження в район тактичного розгортання
20	Відбиття ракетно-авіаційного удару противника на переході
21	Перебудова в бойовий порядок на межі тактичного розгортання
22	Нанесення ракетно-авіаційного удару по кораблях противника: – розпорядження на пуск крилатих ракет на зліт літаків штурмової авіації; – зліт основної тактичної групи штурмової авіації; – пуск крилатих ракет із кораблів; – вихід літаків основної тактичної групи на рубіж атаки, маневрування та застосування озброєння. Противник відмовився від подальших дій щодо висадки морського десанту на острові N

Запропонована методологія моделювання сценаріїв застосовувалася для автоматизації процесів формування управлінських рішень і апробована під час проведення досліджень у сфері управління та підготовки дій кораблів і авіації КЗ. Методологія дозволяє відпрацювати організаційно-функціональну структуру, що забезпечує ефективність та узгодженість дій посадових осіб при виконанні завдань КЗ, змодельовати взаємодію всіх учасників сценарію як у штатному режимі, так і у режимі виникнення різних нештатних ситуацій, що вимагають прийняття адекватних та обґрунтованих управлінських рішень.

Наведений сценарій є одним із сценаріїв, розроблених для моделювання процесів управління КЗ, які складають базу знань сценаріїв МК АСУ КЗ (шаблонів) із детальним описом кроків моделювання та рекомендаціями використання ФЗ при реалізації процесу моделювання. Застосування знання-орієнтованих технологій на основі XML сприяє організації БД накопиченого досвіду.

5. Висновки

Запропонована методологія процесно-орієнтованого моделювання складних сценаріїв на основі графічних методів нотації BPMN 2.0 та знання-орієнтованих технологій показала суттєве зменшення кількості помилок, яких припускається аналітик унаслідок суб'єктивного сприйняття особливостей Про. Зменшення помилок досягається за рахунок розширення інструментарію аналітика знання-орієнтованими технологіями Knowledge Graph NEO4J+Cypher та онтології OWL-Protégé з вбудованим резонером – програмою отримання логічних висновків.

Результати моделювання процесів управління КЗ довели, що МК КСУ КЗ може використовуватися для відпрацювання перспективних технологій автоматизованого управління морськими та повітряними силами, технологій проектування командних систем управління різного призначення, а також для підготовки та тренажу операторів – фахівців усіх рівнів управління КЗ.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Wieringa R. Design Science Methodology for Information Systems and Software Engineering. Springer Berlin Heidelberg, 2014. P. 27–34.
2. Додонов А.Г., Путятін В.Г., Куценко С.А., Князь И.В. Сценарій прийняття рішення по організації противоюдочної і противоминної оборони корабельного соединення. *Математичні машини і системи*. 2015. № 3. С. 156–170.
3. Додонов О.Г., Путятін В.Г., Ланде Д.В., Куценко С.А. Побудова узагальненої структури інформаційної системи організаційного управління. *Математичні машини і системи*. 2017. № 2. С. 3–22.

4. Додонов О.Г., Сенченко В.Р., Коваль О.В., Бойченко А.В. Моделювання сценаріїв аналітичної діяльності на основі нотації BPMN та OWL. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2020. Т. 22, № 1. С. 31–48.
5. Додонов О.Г., Путятін В.Г., Куценко С.А., Сенченко В.Р., Додонов Є.О. Застосування сценарного підходу при розробці управлінських рішень (на прикладі сценарію управління корабельним з'єднанням). *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2022. Т. 24, № 2. С. 24–42. DOI: [10.35681/1560-9189.2022.24.2.275024](https://doi.org/10.35681/1560-9189.2022.24.2.275024).
6. Business Process Design with Powerful BPMN Software. URL: <https://www.visual-paradigm.com/features/bpmn-diagram-and-tools/>.
7. Neo4j Graph Database. URL: <https://neo4j.com/product/neo4j-graph-database>.
8. Cypher Query Language. URL: <https://neo4j.com/developer/cypher>.
9. Bizagi Modeler, User Guide. URL: <https://help.bizagi.com/process-modeler/en>.
10. Офіційний сайт: Bizagi. URL: <https://www.bizagi.com/en>.
11. Business Process Model & Notation™ (BPMN™) – Object Management Group. URL: <https://www.omg.org/bpmnProtégé>.
12. Free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems. URL: <http://protege.stanford.edu>.
13. xslt – how to transform xml file to graphml file – Stack Overflow. URL: <https://stackoverflow.com/questions/46139943/how-to-transform-xml-file-to-graphml-file>.
14. bpmn-io/bpmn-moddle: Read and write BPMN 2.0 XML from JavaScript – GitHub. URL: <https://github.com/bpmn-io/bpmn-moddle>.
15. BPMN 2.0 Introduction Flowable Open Source Documentation. URL: <https://www.flowable.com/open-source/docs/bpmn/ch07a-BPMN-Introduction>.
16. Коваль О.В. Методи та засоби комп'ютерного моделювання сценаріїв аналітичної діяльності: дис. ... д-ра техн. наук: 01.05.02. Київ: Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова НАН України, 2021. 440 с.
17. Сенченко В.Р. Семантична сумісність процесів складних сценаріїв аналітики. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2021. Т. 23, № 3. С. 48–61. DOI: [10.35681/1560-9189.2021.23.2.244965](https://doi.org/10.35681/1560-9189.2021.23.2.244965).
18. Integrating Neo4j into the LangChain ecosystem. URL: <https://towardsdatascience.com/integrating-neo4j-into-the-langchain-ecosystem-df0e988344d2>.
19. 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>.
20. GitHub – Robert62/BPMN2OWL: Store BPMN diagrams as OWL files. URL: <https://github.com/Robert62/BPMN2OWL>.
21. Query a Neo4j database using Cypher – Getting Started. URL: <https://neo4j.com/docs/getting-started/cypher-intro>.
22. Ресурс BPMN-to-S-BPM-Ontology. Available. URL: <https://github.com/reiterma13>.

Стаття надійшла до редакції 01.08.2023