

Г. В. Худов¹, І. А. Хижняк¹, О. В. Сальник¹, П. Є. Минко², В. В. Андронов³

¹ Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна

² Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

³ Науково-дослідний інститут Воєнної розвідки, Київ, Україна

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ТА АРХІТЕКТУРНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ З БОРТОВИХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Анотація. Предметом вивчення в статті є підходи до моделювання та архітектурного представлення інформаційної технології. **Метою** є аналіз підходів до моделювання та архітектурного представлення інформаційної технології обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження. **Завдання:** здійснити аналіз існуючих підходів до моделювання та архітектурного представлення інформаційних технологій з урахуванням особливостей обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження; виокремити найбільш релевантні для розробки інформаційних технологій обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження; сформувати рекомендації щодо застосування уніфікованих моделей для забезпечення зручності взаємодії різних фахівців у межах одного технічного середовища. Використовуваними **методами** є: аналітичні та емпіричні методи порівняльного дослідження, методи створення інформаційних технологій. Отримані такі **результати**. Проаналізовано та систематизовано основні підходи до моделювання інформаційних технологій, зокрема функціональне, об'єктно-орієнтоване, поведінкове та бізнес-моделювання. Визначено, що ефективне проєктування систем обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження потребує комплексного використання цих підходів залежно від специфіки задач. Окремо розглянуто архітектурні концепції (монолітна, мікросервісна, C4-модель, TOGAF, трирівнева структура), що дають змогу формалізувати логіку функціонування складних IT-рішень. Також охарактеризовано сучасні інструменти для побудови діаграм і моделей, що підтримують процес проєктування, верифікації та документування систем. **Висновки.** Моделювання є критично важливою складовою при створенні інформаційних технологій для обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження. Ефективність таких IT-рішень забезпечується комплексним застосуванням різних підходів до моделювання та архітектурного проєктування. Поєднання функціональних, об'єктно-орієнтованих, поведінкових та бізнес-моделей, а також використання сучасних архітектурних рішень і інструментів, сприяє створенню надійних, масштабованих і адаптивних систем. Отримані результати можуть бути використані як методологічна основа при розробці інформаційних технологій у сфері бортового спостереження та подібних складних технічних систем.

Ключові слова: інформаційна технологія, моделювання інформаційної технології, архітектурне представлення інформаційної технології, обробка зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді.

У сучасних умовах інтенсивного розвитку систем дистанційного зондування Землі, безпілотних авіаційних комплексів та супутникових платформ особливої актуальності набувають інформаційні технології, здатні ефективно обробляти візуальну інформацію, отриману з бортових оптико-електронних засобів спостереження [1–3]. Надійна, оперативна та якісна обробка таких зображень це ключова умова для виконання завдань моніторингу, навігації, розвідки та ситуаційної обізнаності в режимі реального часу [4].

Проте ефективність функціонування зазначених технологій значною мірою залежить від правильного моделювання їх структури та побудови архітектури інформаційної системи. Адже моделювання та архітектурне представлення є ключовими етапами у створенні сучасної інформаційної технології, особливо в такій складній сфері, як обробка зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження. В умовах зростаючих вимог до точності, швидкодії та надійності IT-рішень, грамотне структурування та формалізація компонентів системи забезпечують основу для подальшого розвитку, масштабування та інтеграції таких рішень у складні технічні комплекси.

Також особливістю області обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження є необхідність інтеграції таких рішень у складні бортові комплекси з обмеженими ресурсами та високими вимогами до швидкодії, точності та автономності.

Крім того, сучасні системи створюються міждисциплінарними командами фахівців: програмістами, архітекторами систем, аналітиками, операторами, інженерами технічного супроводу. Кожен із них працює зі своїм баченням структури та функцій системи, має свої специфічні запити та вимоги. В такому середовищі уніфікація моделей і архітектурного представлення інформаційних технологій дозволяє забезпечити спільну мову, що полегшує комунікацію, інтеграцію та подальший розвиток інформаційної технології обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження.

Основними вимогами замовників до сучасних інформаційних систем обробки зображень з бортових оптико-електронних систем є: здатність забезпечити високу точність обробки, адаптація до змін середовища, масштабованість і інтеграція з іншими компонентами розвідувально-аналітичних комплексів [3, 4]. Водночас розробники стикаються з низкою викликів, пов'язаних з великим обсягом оброблюваних даних, потребою в реальному часі опрацювання зображень, обмеженими обчислювальними ресурсами бортової

платформи, а також високими вимогами до надійності та автономності систем [5, 6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасний стан розвитку інформаційних технологій засвідчує існування великої кількості підходів до їхнього моделювання та архітектурного представлення. Ці підходи активно застосовуються в різноманітних галузях – від бізнес-аналізу до промислової автоматизації, від медичних інформаційних систем до систем керування технічними об'єктами [7]–[8]. Як правило, вибір того чи іншого методу моделювання залежить від специфіки предметної області, цілей проекту, рівня складності об'єкта моделювання та потреб користувачів.

На сьогоднішній день в науковій і прикладній літературі здебільшого представлено підходи, які були розроблені в контексті таких галузей, як бізнес-процеси (BPMN, UML) [9]–[10], промислова автоматизація (SCADA-системи) [11], проектування IT-інфраструктур, моделювання кіберфізичних систем та інші. Серед найпоширеніших підходів можна відмітити: об'єктно-орієнтоване моделювання (UML, SysML) [10], функціонально-структурне представлення (IDEF0, DFD) [12], процесно-орієнтовані моделі, сервісно-орієнтована архітектура (SOA) [13].

У літературі також приділяється увага моделюванню інформаційних технологій у галузях із підвищеними вимогами до надійності, таких як авіація, оборонна промисловість, телеметрія. Однак саме область обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження характеризується підвищеною складністю та недостатньою кількістю стандартизованих моделей. Дана область є високо спеціалізованою: вона характеризується обмеженими ресурсами бортових платформ, вимогами до обробки даних у реальному часі, потребою в автономності рішень, а також критичною важливістю точності, ретельності й надійності аналізу візуальної інформації. У зв'язку з цим постає проблема вибору такого підходу до моделювання та архітектурного подання інформаційної технології, який би не лише відповідав загальним принципам системної інженерії, але й був адаптований до специфіки застосування в умовах аерокосмічних і військово-технічних платформ.

Дослідження, що розглядають системи автоматичного аналізу зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження, здебільшого фокусуються на алгоритмах комп'ютерного зору (нейронні мережі, кластеризація, методи глибокого навчання) [14]–[16], проте питання структурного й архітектурного подання цих систем лишається менш висвітленим в науковій і прикладній літературі. Особливо актуальною є потреба в адаптації існуючих методів моделювання до умов роботи в реальному часі, з урахуванням обмежень бортових платформ.

Зважаючи на те, що універсального підходу не існує, постає завдання визначення критеріїв, за якими можна розробникам обґрунтовано здійснювати

вибір методів моделювання та архітектурних рішень: рівень абстракції, ступінь формалізації, підтримка життєвого циклу IT-рішення, підтримка модульності (масштабованість), підтримка міждисциплінарної взаємодії (розробників, операторів, аналітиків), інтеграція з апаратною частиною систем тощо.

Таким чином, проблема полягає не лише у створенні ефективної інформаційної технології обробки зображень, а й у визначенні та адаптації наявних підходів до її уніфікованого й стандартизованого моделювання, яке було б зрозумілим, доступним і прийнятним для широкого кола фахівців – від розробників програмного забезпечення до інженерів-експлуатантів та аналітиків. Це передбачає також узгодження архітектурних рішень із вимогами міждисциплінарної співпраці, підтримки життєвого циклу системи та можливостей її масштабування в майбутньому.

З огляду на це, в даній статті проведено аналіз існуючих підходів до моделювання та архітектурного представлення інформаційних технологій, з метою:

– здійснити їх аналіз з урахуванням особливостей обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження;

– виокремити найбільш релевантні для розробки інформаційних технологій обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження;

– сформулювати рекомендації щодо застосування уніфікованих моделей для забезпечення зручної взаємодії різних фахівців у межах одного технічного середовища.

Мета статті – аналіз підходів до моделювання та архітектурного представлення інформаційної технології обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження.

Основна частина

1. Моделювання інформаційної технології.

Моделювання інформаційної технології – це процес формалізованого опису її структури, функцій, взаємодій та поведінки за допомогою різноманітних абстрактних представлень. Основною метою моделювання є створення цілісного уявлення про систему ще до її фізичної реалізації, що дозволяє здійснити її аналіз, перевірку, оптимізацію, тестування, уніфікацію та документування на всіх етапах життєвого циклу. Особливо актуальним є моделювання в контексті побудови складних інформаційних технологій, таких як системи обробки зображень з бортових оптико-електронних платформ, де необхідно враховувати складну структуру вхідних даних, обчислювальні обмеження, режими роботи в реальному часі та специфіку інтеграції з іншими бортовими або наземними підсистемами.

У сучасній практиці існує кілька базових підходів до моделювання, кожен з яких застосовується відповідно до поставлених цілей, типу системи та вимог до представлення даних. Розглянемо ці підходи до моделювання.

1.1. Функціональне моделювання

Цей підхід ґрунтується на розкладанні системи на окремі функції, між якими передаються дані у вигляді потоків. Він дозволяє наочно представити що саме виконує система і як здійснюється обробка даних між її частинами.

Найпоширенішими прикладами інструментів функціонального моделювання є [12], [17, 18]:

– IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling) – один із найбільш усталених методів функціонального моделювання, що дає змогу представити систему у вигляді ієрархії функціональних блоків з входами, виходами, механізмами та обмеженнями;

– DFD (Data Flow Diagrams) – діаграми потоків даних, які фокусуються на потоках інформації між процесами, базами даних і зовнішніми суб'єктами.

Функціональне моделювання є особливо корисним для аналізу та проектування логіки обробки зображень, включаючи етапи прийому сигналу, попередньої обробки, обробки, класифікації, інтерпретації тощо.

1.2. Об'єктно-орієнтоване моделювання

Цей підхід базується на принципах інкапсуляції, успадкування та поліморфізму, що дозволяє створювати моделі, близькі до структури сучасних мов програмування. У центрі моделі – об'єкти (сутності), які мають властивості (дані) та методи (поведінку). Основним інструментом об'єктно-орієнтованого моделювання є UML (Unified Modeling Language) – універсальна мова візуального моделювання, яка включає кілька типів діаграм [10]:

– діаграми класів, об'єктів, компонентів, пакетів (структурний рівень),

– діаграми варіантів використання, послідовностей, діяльності, станів (поведінковий рівень).

Об'єктно-орієнтоване моделювання особливо ефективно при архітектурному проектуванні програмного забезпечення для модульних або мікросервісних систем, у яких кожен компонент має власні інтерфейси, методи та взаємозв'язки.

Окрім UML, для моделювання складних технічних систем часто використовується SysML (Systems Modeling Language) – спеціалізоване розширення UML, призначене для міждисциплінарного системного інжинірингу. SysML підтримує моделювання не лише програмних компонентів, але й апаратного забезпечення, фізичних процесів, вимог, параметрів продуктивності, обмежень тощо.

SysML включає типи діаграм, аналогічні UML (структурні, поведінкові), але також має власні спеціалізовані діаграми [19]:

– діаграми вимог – для представлення функціональних та нефункціональних вимог до системи;

– параметричні діаграми – для опису обмежень і залежностей між параметрами системи;

– блок-схеми (Block Definition Diagrams) – для моделювання фізичних і логічних частин системи;

– діаграми розгортання – для моделювання фізичного розміщення компонентів.

Використання SysML дозволяє об'єднати програмну архітектуру з інженерними аспектами, що

особливо важливо для проектування інформаційних технологій в авіаційних, космічних та вбудованих системах, зокрема при створенні систем обробки зображень з бортових сенсорів.

1.3. Моделювання поведінки системи

Цей підхід орієнтований на відображення динамічних аспектів функціонування системи, таких як зміна її станів у часі, реакція на події, черговість виконання процесів.

Інструментами є [20]:

– діаграми станів (State Diagrams) – відображають переходи між станами об'єкта в результаті певних подій;

– діаграми активності (Activity Diagrams) – ілюструють алгоритми виконання процесів, черговість дій, можливі паралельні потоки.

У системах обробки зображень моделювання поведінки дає змогу відобразити режими роботи системи: наприклад, ініціалізація камери, зчитування кадру, обробка, виявлення об'єктів, збереження або передача даних, реакція на зміну умов освітлення тощо.

1.4. Бізнес-моделювання

Бізнес-моделювання використовується для опису бізнес-процесів або операційних сценаріїв, які реалізуються або обслуговуються інформаційною технологією. Такий підхід дозволяє побудувати зв'язок між технічною реалізацією та практичними потребами користувача чи організації.

Основним стандартом є BPMN (Business Process Model and Notation) – графічна нотация для опису бізнес-процесів, яка підтримується багатьма сучасними інструментами [9].

У контексті систем оптико-електронного спостереження BPMN може бути використана для моделювання взаємодії між модулями обробки зображень, операторами, аналітичними службами та зовнішніми інформаційними системами.

Отже, функціональні методиками, такі як IDEF0 і DFD, забезпечують чітку структуру, що критично для пояснення потоків обробки. UML та об'єктно-орієнтовані моделі підходять для програмних архітектур і інтегруються з мікросервісами. Моделювання поведінки через UML підтверджується практикою архітекторів програмного забезпечення, а BPMN – як стандартний інструмент бізнес-моделювання. Таке поєднання підходів лежить в основі ефективного створення інформаційних технологій обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження. Комплексне моделювання інформаційної технології потребує поєднання кількох підходів. Наприклад, функціональне моделювання може використовуватися для представлення загальної логіки роботи, об'єктно-орієнтоване – для реалізації архітектури програмного забезпечення, а поведінкове – для симуляції динаміки функціонування системи в різних умовах. Вибір підходу має здійснюватися з урахуванням характеру задачі, типу системи, наявних ресурсів і кінцевих користувачів моделі.

2. Архітектурне представлення інформаційної технології

Архітектура ІТ-системи – це структурне уявлення про її основні компоненти, способи їхньої

взаємодії, розподіл функцій, технологічні залежності та принципи організації. Архітектурне представлення слугує своєрідною "картою" системи, яка дозволяє забезпечити розуміння, масштабованість, підтримуваність і надійність при проектуванні складних технологічних рішень.

У випадку розробки інформаційних технологій обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження архітектура визначає, як саме реалізуються етапи збору, обробки, зберігання та передачі зображень, а також як система взаємодіє з іншими платформами чи аналітичними службами.

Серед найпоширеніших підходів до архітектурного представлення виділяють наступні, які розглянемо далі.

2.1. Архітектурні моделі з використанням шаблонів

Ці моделі спираються на типові шаблони архітектур, які довели свою ефективність у різних сферах інформаційних технологій. До них належать [21]:

- монолітна архітектура – система реалізована як єдине ціле, де всі компоненти взаємозалежні та функціонують в одному середовищі. Такий підхід простий у реалізації, але має обмежену гнучкість і масштабованість, що ускладнює супровід великих або розподілених систем;

- клієнт-серверна архітектура – класичний підхід, за якого функціональність розподіляється між клієнтом (інтерфейс користувача) та сервером (обробка запитів, доступ до баз даних, зберігання логіки). Актуальний у багатьох прикладних системах, включаючи віддалену обробку зображень;

- мікросервісна архітектура (MSA) – передбачає поділ системи на набір незалежних сервісів, кожен із яких відповідає за окрему функціональність. Сервіси взаємодіють між собою через API (Application Programming Interface) або повідомлення. Цей підхід забезпечує масштабованість, незалежне розгортання модулів та гнучкість оновлень;

- сервіс-орієнтована архітектура (SOA) – базується на обміні даними через веб-сервіси (SOAP, REST) та орієнтована на інтеграцію різнорідних систем. Забезпечує модульність і повторне використання функцій у корпоративному середовищі.

2.2. C4-модель архітектури

C4-модель (Context, Containers, Components, Code) – це сучасний, візуально орієнтований підхід до опису архітектури програмних систем, що охоплює кілька рівнів абстракції [22]:

- рівень 1 – контекст: загальна картина взаємодії системи із зовнішнім середовищем (користувачами, іншими системами);

- рівень 2 – контейнери: логічне розділення системи на окремі програми, сервіси чи бази даних;

- рівень 3 – компоненти: деталізація функціональних частин усередині контейнерів;

- рівень 4 – код: реалізація конкретної логіки на рівні вихідного коду.

C4-модель сприяє узгодженому розумінню архітектури як серед розробників, так і бізнес-

аналітиків, оскільки забезпечує чітке візуальне представлення.

2.3. Архітектура за TOGAF

TOGAF (The Open Group Architecture Framework) – це всесвітньо визнаний фреймворк для побудови корпоративних IT-архітектур, який застосовується в складних організаційних і технологічних середовищах.

Архітектура в TOGAF розділяється на чотири домени [23]:

- бізнес-архітектура – описує стратегію, організаційну структуру та бізнес-процеси;

- архітектура даних – визначає структуру, потоки та сховища інформації;

- архітектура додатків – описує взаємодію прикладних компонентів;

- технологічна архітектура – включає інфраструктуру, апаратне забезпечення, мережеві та платформні ресурси.

TOGAF застосовується переважно в проєктах, де IT-технології тісно інтегруються з організаційними завданнями.

2.4. Трирівнева (трьохшарова) архітектура

Цей підхід передбачає логічне поділення системи на три взаємозалежні рівні, кожен із яких виконує власну функцію [24]:

- Presentation Layer (UI) – рівень інтерфейсу користувача, через який здійснюється взаємодія із системою;

- Logic Layer (Business Logic) – обробка бізнес-логіки, реалізація основних алгоритмів обробки даних;

- Data Layer (Data Access) – доступ до баз даних, збереження та отримання інформації.

Така архітектура забезпечує модульність, повторне використання компонентів та спрощення тестування, що є важливим при створенні програмного забезпечення для обробки зображень у режимі реального часу або з великими обсягами даних.

Отже, архітектурне представлення інформаційної технології є основою для її ефективного проєктування, впровадження й масштабування. Вибір архітектурного підходу залежить від характеру задачі, технічних вимог, обсягів даних, потреб у розширюваності та інтеграції з іншими системами. Аналіз існуючих архітектур дає змогу обґрунтовано обрати модель, яка найкраще відповідає вимогам конкретної IT-системи, зокрема – у галузі бортових технологій оптико-електронного спостереження.

3. Інструменти для моделювання й архітектурного опису

Розробка сучасних IT-систем вимагає використання інструментів, що підтримують моделювання, архітектурне проєктування, візуалізацію процесів та ведення документації. Вибір інструментів залежить від обраної методології, складності системи, рівня деталізації та колабораційних потреб команди. У цьому розділі наведено ключові категорії таких засобів та приклади їх застосування.

3.1. Інструменти для побудови UML/DFD/BPMN-діаграм

Ці інструменти дозволяють створювати стандартизовані нотації, які широко використовуються

для моделювання структурних і поведінкових аспектів систем [25]:

- Lucidchart – веб-застосунок для побудови діаграм будь-якої складності: від DFD та BPMN до UML. Має інтеграцію з Google Workspace, Slack та Confluence. Підходить для командної роботи в реальному часі;

- Draw.io (diagrams.net) – безкоштовний онлайн-інструмент з широким набором шаблонів UML, BPMN, ER-діаграм тощо. Має простий інтерфейс і підтримує збереження проєктів у хмарі (Google Drive, OneDrive);

- StarUML – потужне десктопне середовище для створення діаграм UML 2.x і SysML. Підтримує кодування моделей, розширення плагінами та експорт у різні формати.

3.2. Інструменти для побудови IDEF0-діаграм

Для створення IDEF0-діаграм використовується низка спеціалізованих інструментів, які відрізняються функціональністю, доступністю та рівнем складності [17]:

- Visual Paradigm – професійне середовище для моделювання з повною підтримкою стандарту IDEF0. Дозволяє створювати ієрархічні функціональні моделі, а також експортувати діаграми у форматі PDF, зображення, HTML;

- Microsoft Visio – популярна платформа для побудови діаграм. Підтримує створення IDEF0-діаграм за допомогою шаблонів (додаються вручну або завантажуються окремо). Підтримується ручне моделювання функціональних блоків;

- Lucidchart – хмарний онлайн-інструмент для створення діаграм, що підтримує шаблони IDEF0 та спільну роботу в реальному часі. Зручний для швидкої побудови моделей без потреби встановлення програмного забезпечення;

- SmartDraw – гібридний онлайн і десктопний редактор, який має готові шаблони для IDEF0 та функцію автоматичного вирівнювання елементів;

- OpenModelSphere – безкоштовне open-source середовище моделювання, яке підтримує IDEF0, DFD та ERD. Підходить для некомерційного або навчального використання;

- Enterprise Architect (Sparx Systems) – потужне професійне середовище, орієнтоване на архітектурне моделювання систем. Підтримує IDEF0 через шаблони та профілі, а також UML, SysML, BPMN, TOGAF;

- BPWin – спеціалізований інструмент для побудови IDEF0-діаграм з прямою підтримкою методології та ієрархічним представленням функцій. Хоча вже вважається застарілим, досі використовується в окремих галузях.

Рекомендується обирати Lucidchart або Microsoft Visio для навчання й швидкої візуалізації, Visual Paradigm чи Enterprise Architect – для професійного моделювання та командної роботи, а OpenModelSphere – для безкоштовного або open-source використання.

3.3. Засоби для опису архітектури систем (C4, TOGAF тощо)

Для архітектурного представлення системи на рівні контексту, контейнерів, компонентів і техно-

логій використовують спеціалізовані інструменти [21]–[22]:

- Structurizr – інструмент для побудови архітектури за C4-моделлю. Підтримує автоматичну генерацію діаграм з коду (Java, C#, DSL). Зручний для DevOps-практик;

- Archi – безкоштовне середовище для моделювання корпоративної архітектури за методологією ArchiMate (яка тісно інтегрується з TOGAF). Дає змогу моделювати бізнес-процеси, додатки та IT-інфраструктуру;

- Enterprise Architect – професійний інструмент, що підтримує UML, SysML, BPMN, ArchiMate, а також TOGAF. Має засоби для зворотного та прямого інжинірингу, ведення документації, моделювання даних і створення звітів. Підходить для великих команд і масштабних проєктів.

3.4. Інструменти для прототипування UI/UX

Прототипування інтерфейсів користувача – важливий етап у створенні програмної частини ІТ-систем. Ці інструменти дозволяють створювати візуальні макети й інтерактивні прототиби [26]:

- Figma – хмарний редактор для дизайну UI/UX, що підтримує спільну роботу в режимі реального часу. Підтримує прототипування, анімацію, компоненти та плагіни. Широко використовується в agile-командах;

- Balsamiq – інструмент для створення швидких, схематичних макетів інтерфейсів (wireframes). Дає змогу швидко передати ідею інтерфейсу, ще до розробки його дизайну.

3.5. Платформи для зберігання та спільного ведення документації

Ведення документації є критично важливим для узгодження командної роботи, фіксації архітектурних рішень та підтримки проєкту у майбутньому [21], [23]:

- Confluence – корпоративна вікі-система від Atlassian. Дозволяє організувати документацію у вигляді сторінок, які можна коментувати, пов'язувати між собою, інтегрувати з Jira;

- Notion – сучасна універсальна платформа для створення документів, баз знань, таблиць, списків завдань тощо. Підтримує гнучку структуру контенту, шаблони, таблиці й інтеграції. Часто використовується стартапами та кросфункціональними командами.

Отже, вибір інструментів моделювання та архітектурного опису залежить від типу проєкту, складності системи, кількості учасників розробки та прийнятих стандартів. Важливо не лише створити модель, але й забезпечити її зрозумілість, підтримку та актуальність упродовж усього життєвого циклу системи. Інтеграція візуальних інструментів, архітектурних фреймворків і документальних платформ сприяє підвищенню якості проєктних рішень та ефективності командної взаємодії.

4. Переваги системного моделювання та архітектурного опису

Системне моделювання та архітектурне представлення інформаційної технології є невід'ємною

складовою сучасного підходу до розробки складних ІТ-рішень. Вони дозволяють не лише візуалізувати систему, а й забезпечити чітке планування, управління ризиками та узгодження рішень між усіма учасниками проекту. Нижче наведено ключові переваги цього підходу:

4.1. Забезпечення цілісного бачення системи

Моделі та архітектурні діаграми дозволяють охопити всю систему як єдине ціле – від користувачьких інтерфейсів до внутрішньої логіки та баз даних. Це особливо важливо для:

- систем з великою кількістю компонентів та взаємозв'язків;
- міждисциплінарних команд, де важливо узгодити уявлення про функціональність;
- забезпечення відповідності між технічними, бізнесовими та експлуатаційними вимогами.

Цілісна модель дає змогу краще зрозуміти призначення, ролі та відповідальність кожного елемента системи.

4.2. Раннє виявлення помилок та недоліків

Системне моделювання дає змогу перевірити логіку роботи системи ще до початку кодування, завдяки чому:

- можна виявити конфлікти, неузгодженості, пропущені сценарії чи надмірні залежності;
- знижуються витрати на виправлення помилок у пізніх стадіях розробки;
- зростає якість фінального рішення завдяки глибшому розумінню системи ще на етапі проектування.

Таким чином, модель служить інструментом для аналізу, симуляції та перевірки поведінки системи до її реалізації.

4.3. Полегшення комунікації між учасниками проекту

Використання візуальних моделей, стандартних нотацій (UML, BPMN, C4 тощо) сприяє ефективному обміну інформацією між усіма учасниками розробки, включно з:

- розробниками програмного забезпечення;
- бізнес-аналітиками;
- замовниками та користувачами;
- архітекторами й системними адміністраторами.

Моделі виконують роль "спільної мови", яка зменшує ймовірність непорозумінь, сприяє узгодженню вимог і прискорює прийняття рішень.

4.4. Основу для масштабування, підтримки та еволюції системи

Моделювання та архітектурне представлення створюють формалізовану документацію, яка:

- служить довідковим джерелом для нових членів команди;
- дозволяє швидко орієнтуватися у структурі при внесенні змін;
- полегшує масштабування, модернізацію та супровід системи;
- забезпечує відповідність змін існуючим стандартам, вимогам і залежностям.

Це особливо важливо для довгострокових або розподілених проектів, де якісна документація відіграє критичну роль.

Отже, системне моделювання та архітектурний опис є не лише технічним етапом проектування, а стратегічним інструментом для досягнення надійності, прозорості та узгодженості під час створення складних інформаційних технологій. Їх використання суттєво підвищує шанси на успішну реалізацію ІТ-проекту, забезпечуючи контроль, передбачуваність і довгострокову життєздатність системи.

Висновки

У сучасному світі розробки складних інформаційних технологій, зокрема в галузі обробки зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження, моделювання відіграє ключову роль як на етапі проектування, так і в процесі інтеграції, тестування та подальшого супроводу систем. Проведений аналіз свідчить, що ефективне моделювання інформаційної технології неможливе без гнучкого поєднання кількох підходів – функціонального, об'єктно-орієнтованого, поведінкового та бізнес-моделювання. Кожен із цих підходів виконує свою унікальну функцію у відображенні логіки, структури, поведінки чи контексту застосування ІТ-системи.

Функціональні методика (IDEF0, DFD) дозволяють формалізувати потоки даних і послідовності обробки, що є важливим для побудови моделей обробки сигналів та візуалізації технологічних процесів.

Об'єктно-орієнтовані підходи (UML, SysML) забезпечують глибоке структурне та поведінкове представлення програмних і апаратних компонентів системи, сприяючи інтеграції з реальними мовами програмування та середовищами розробки. Поведінкові моделі (діаграми станів, активностей) демонструють динаміку та реакції систем на події, що критично для систем реального часу. Бізнес-моделювання (BPMN) дозволяє поєднати технічну реалізацію з практичними сценаріями використання, враховуючи роль людського фактора, організаційних процедур і зовнішніх інформаційних потоків.

Не менш важливим є архітектурне представлення інформаційної технології, що задає фундаментальні принципи її організації, масштабування, адаптації до змін середовища та інтеграції з іншими підсистемами. У роботі були розглянуті сучасні архітектурні підходи: від класичних (монолітної, клієнт-серверної) до гнучких і масштабованих (мікросервісна архітектура, SOA), а також багаторівневих моделей (трирівнева архітектура, C4, TOGAF). Залежно від специфіки задачі та контексту застосування, кожен з них може забезпечити потрібний рівень модульності, гнучкості та керованості системи.

Крім того, сучасні інструменти моделювання (Lucidchart, Draw.io, Visual Paradigm, Enterprise Architect тощо) надають широкі можливості для побудови, візуалізації, аналізу та супроводу моделей, забезпечуючи командну роботу, документування та підтримку життєвого циклу ІТ-продукту.

Загалом, розробка інформаційних технологій для обробки зображень з бортових систем оптико-

електронного спостереження вимагає системного підходу до моделювання та архітектури. Поєднання різних методологій та інструментів дозволяє врахувати як технічні аспекти системи (обчислювальні обмеження, режими реального часу, інтеграція з сенсорами), так і бізнес-вимоги, експлуатаційні сценарії, можливості масштабування та адаптації. Таким чином, моделювання виступає не лише засобом проєктування, а й критичним інструментом забезпечення якості, надійності та ефективності сучасних інформаційних технологій.

А грамотне моделювання та архітектурне представлення інформаційної технології є не лише інженерним завданням, а й необхідною умовою

досягнення ефективності, масштабованості та адаптивності систем оптико-електронного спостереження у складних умовах сучасного інформаційного простору.

Подяка

Дослідження були проведені за рахунок грантової підтримки Національного фонду досліджень України в рамках конкурсу “Наука для зміцнення обороноздатності України”, назва проєкту “Інформаційна технологія автоматизованого сегментування зображень об’єктів в системах націлювання ударних FPV-дронів на основі алгоритмів ройового інтелекту”, реєстраційний номер 2023.04/0153.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Довгий С. О., Лялько В. І., Бабійчук С. М., Кучма Т. Л., Томченко О. В., Юрків Л. Я. Основи дистанційного зондування Землі: історія та практичне застосування. Київ: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. 316 с.
2. Байрак Г., Муха Б. Дистанційні дослідження Землі. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2010. 712 с.
3. Даник Ю. Г., Топольницький П. П., Пулеко І. В., Поздняков П. В., Родіонов А. В., Бугайов М. В. Основи побудови безпілотних роботизованих систем спеціального призначення. Житомир: ЖВІ, 2016. 306 с.
4. Манойлов В. П., Омельчук В. В., Опанюк В. В. Дистанційне зондування Землі із космосу: науково-технічні основи формування й обробки видової інформації. Житомир: ЖДТУ, 2008. 384 с.
5. Білоус В.В., Боднар С.П., Курач Т.М., Молочко А.М., Патиченко Г.О., Підлісецька І.О. Дистанційне зондування з основами фотограмметрії: навчальний посібник К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. 367 с.
6. Кохан С. С. Геоінформаційний аналіз і моделювання. Ч. 1. Навч.-мет. пос. Київ: ЦП «КОМПРИНТ», 2018. 93 с.
7. Злепко С. М., Тимчик С. В., Федосова І. В. та ін. Сучасні інформаційні технології в науці та освіті: навчальний посібник [Електронний ресурс]. Вінниця: ВНТУ, 2018. 161 с.
8. Шевчук Т. В., Кравчук Г. Т. Стан і перспективи розвитку інформаційних технологій в Україні. Науковий вісник НЛТУ України. Серія Економічна. 2018, т. 28, No 9. С. 114–118. <https://doi.org/10.15421/40280922>
9. Lee W.-T., Ma S.-P. Process modeling and analysis of service-oriented architecture-based wireless sensor network applications using multiple-domain matrix. International Journal of Distributed Sensor Networks. 2016. <https://doi.org/10.1177/1550147716676556>
10. Friedenthal S., Moore A., Steiner R. Systems engineering with SysML/UML: Modeling, analysis, design. A volume in The MK/OMG Press. Book. 2008.
11. Gezer D., Unver H. O., Tascioglu Y., Celebioglu K., Aradag S. Design and simulation of a SCADA system using SysML and Simulink. IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), Madrid, Spain. 2013. P. 935–939. <https://doi.org/10.1109/ICRERA.2013.6749909>
12. Godlevskiy M. D., Orlovskiy D. L., Kopp A. M. Structural analysis and optimization of ideo functional business process models. Radio Electronics, Computer Science, Control. 2018. № 3. P. 48–56. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-3-6>.
13. Siedashev O. Determination of Software Architecture (SOA) and Microservice Architecture (MSA) Usage Criteria. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series "Mathematical Modeling. Information Technology. Automated Control Systems". 2024. No. 2. <https://doi.org/10.26565/2519-2310-2024-2-04>
14. Parsons M., Bratanov D., Gaston K. J., Gonzalez L. F. UAVs, Hyperspectral Remote Sensing, and Machine Learning Revolutionizing Reef Monitoring. Sensors. 2018. Vol. 18, No. 7. <https://doi.org/10.3390/s18072026>
15. Худов Г. В., Калімулін Т. М., Хижняк І. А., Місюк Г. В., Сердюк О. В. Аналіз основних методів сегментування при тематичній обробці видових зображень. Системи обробки інформації. 2022. № 4 (171). С. 82-89. <https://doi.org/10.30748/soi.2022.171.09>
16. Llano E. G., Roig D. O., Cabrera Y. C. Unsupervised Segmentation of Agricultural Crops in UAV RGB Images. Revista Cubana de Ciencias Informáticas. 2018. Vol. 12, No. 4. P. 17–28. Available at: <https://www.redalyc.org/journal/3783/378365912002/html/>.
17. Manenti G., Ebrahimiarestan M., Yang L., Yu M. Functional Modelling and IDEF0 to Enhance and Support Process Tailoring in Systems Engineering. IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE). 2019. <https://doi.org/10.1109/ISSE46696.2019.8984539>
18. Moreno M., Turner C., Tiwari A., Hutabarat W., Charnley F., Widjaja D., Mondini L. Re-distributed Manufacturing to Achieve a Circular Economy: A Case Study Utilizing IDEF0 Modeling. Procedia CIRP. 2017. Vol. 63. P. 686-691.
19. Kumar A., Dhanwate S. SysML Based Modelling of Gear Shifting Strategy and Drivability for Automatic Transmission. Journal of Physics: Conference Series. 2020. 1478(1), 012008. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1478/1/012008>
20. UML State Machine Diagrams: An Agile Introduction. URL: https://agilemodeling.com/artifacts/statemachinediagram.htm?utm_source=chatgpt.com
21. Гобов Д., Шевченко Н. Визначення архітектури вимог до ІТ-рішення як бізнес-аналітичного продукту. Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2024. № 1(27). С. 26–38. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2024.27.026>.
22. The C4 model for visualising software architecture. веб-сайт. URL : <https://c4model.com/>
23. TOGAF: IT-архітектура підприємства. веб-сайт. URL : <https://www.sso.net.ua/product/togaf/>
24. What is a 3-tier application architecture? Definition and Examples. веб-сайт. URL: https://vfunction.com/blog/3-tier-application/?utm_source=chatgpt.com

25. Інструменти ІТ бізнес-аналітика для аналізу та специфікації Бізнесу/Системи. веб-сайт. URL: <https://www.ba.in.ua/2023/05/05/instrumenty-it-biznes-analytika-dlya-analizu-ta-specyfykacziyi-biznesu-systemy-chastyna-i>
26. UX дизайнерам до уваги: топ кращих інструментів для прототипування. веб-сайт. URL : <https://dan-it.com.ua/uk/blog/ux-dyzajneram-do-uvagy-top-krashhyh-instrumentiv-dlya-prototypuvannya>

Received (Надійшла) 30.06.2025

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.08.2025

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

- Худов Геннадій Володимирович** – доктор технічних наук, професор, начальник кафедри тактики радіотехнічних військ, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;
Hennadii Khudov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Radar Troops Tactic, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: 2345kh_hg@ukr.net; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0002-3311-2848>;
Scopus ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57196079841>.
- Хижняк Ірина Анатоліївна** – доктор технічних наук, начальник НМВ забезпечення якості освітньої діяльності та вищої освіти, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;
Irina Khizhnyak – Doctor of Technical Sciences, Head of Scientific and Methodological Department for Quality Assurance of Educational Process and Higher Education, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: khizh_ia@ukr.net; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0003-3431-7631>;
Scopus ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57196075236>.
- Сальник Олег Вікторович** – старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії факультету післядипломної освіти Харківського національного університету повітряних сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;
Oleh Salnyk – Senior Researcher, Scientific Research Department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Oleh_Salnyk@gmail.com; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0002-2688-1198>.
- Минко Петро Євгенович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри вищої математики Харківського національного університету радіоелектроніки, Харків, Україна;
Petro Mynko – PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics of Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: Petro_Mynko@gmail.com; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0002-2621-8900>.
- Андронов Віталій Віталійович** – кандидат технічних наук, старший дослідник, начальник відділу Науково-дослідного інституту Военної розвідки, Київ, Україна;
Vitalii Andronov – PhD, Senior Researcher, Head of Department of Defence Intelligence Research Institute, Kyiv, Ukraine;
e-mail: Vitalii_Andronov@gmail.com; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0002-1122-710X>.

Analysis of approaches to modeling and architectural representation of image processing information technology from onboard opto-electronic observation systems

Hennadii Khudov, Irina Khizhnyak, Oleh Salnyk, Petro Mynko, Vitalii Andronov

Abstract. The subject of the study in the article is the approaches to modeling and architectural representation of information technology. The aim is to analyze modeling approaches and architectural representation of image processing information technology from onboard optoelectronic observation systems. **Tasks:** to analyze existing approaches to modeling and architectural representation of information technologies, considering the specific features of image processing from onboard optoelectronic systems; to identify the most relevant approaches for the development of such technologies; and to provide recommendations for the application of unified models to ensure effective collaboration among specialists within a common technical environment. The **methods** used include analytical and empirical methods of comparative research, as well as methods for developing information technologies. The **following results were obtained:** the main approaches to modeling information technologies were analyzed and systematized, including functional, object-oriented, behavioral, and business modeling. It was determined that the effective design of image processing systems based on onboard optoelectronic platforms requires a comprehensive application of these approaches, depending on the specifics of the tasks. Architectural concepts such as monolithic, microservice, C4 model, TOGAF, and three-tier structures were also reviewed, which enable the formalization of the logic of complex IT solutions. In addition, modern tools for creating diagrams and models were described, supporting the design, verification, and documentation processes of such systems. The results can serve as a methodological basis for the development of information technologies in the field of onboard surveillance and similar complex technical systems. **Conclusions:** Modeling is a critically important component in the creation of information technologies for image processing from onboard optoelectronic systems. The effectiveness of such IT solutions is ensured through the integrated application of various modeling and architectural design approaches, allowing both technical and business requirements to be addressed. The combination of functional, object-oriented, behavioral, and business models, along with the use of modern architectural solutions and tools, contributes to the creation of reliable, scalable, and adaptive systems. Thus, modeling serves as a key factor in the successful development of complex information technologies in the field of optoelectronic observation. The research was conducted with grant support from the National Research Foundation of Ukraine within the framework of the "Science for Strengthening Ukraine's Defense Capability" competition, project title "Information Technology for Automated Image Segmentation of Objects in Strike FPV Drone Targeting Systems Based on Swarm Intelligence Algorithms," registration number 2023.04/0153.

Keywords: information technology, modeling of information technology, architectural representation of information technology, image processing from onboard opto-electronic observation systems.