

УДК 681.3

DOI 10.32453/3.v10i4.1898

Андрій Д'ЯКОВ

кандидат технічних наук,

доцент кафедри інформаційних систем та технологій,

Львівський державний університет внутрішніх справ, м. Львів, Україна

ORCID ID 0000-0001-6729-2464

dakoff@ukr.net

АРХІТЕКТУРНІ РІШЕННЯ ІНТЕГРАЦІЇ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ПРАВООХОРОННИХ ОРГАНІВ

У статті висвітлено проблему архітектурної інтеграції геоінформаційних систем у функціональні інформаційні системи правоохоронних органів України. З огляду на зростання вимог до просторово-часової обізнаності, забезпечення взаємодії між ГІС-компонентами та оперативно-аналітичними платформами є ключовою умовою ефективності цифрової трансформації сектору безпеки. Метою дослідження є порівняльний аналіз трьох підходів до архітектурної інтеграції – інтеграція ГІС-модуля в інформаційну систему, сервісно-орієнтованої взаємодії через шину повідомлень та гібридної подійно-орієнтованої моделі – з урахуванням критеріїв ефективності, витрат та ризиків. Для досягнення поставленої мети було залучено експертів галузі та проведено багатокритеріальне оцінювання за такими показниками: інтеграційна щільність, гнучкість адаптації, масштабованість, складність реалізації, залежність від платформи, швидкість упровадження. Результати оцінювання нормовано в межах п'ятибальної шкали та візуалізовано за допомогою радарних діаграм. Додатково визначено ризикові профілі архітектур і витратну структуру. З'ясовано, що архітектура з щільним вбудуванням забезпечує максимальну інтеграцію, але супроводжується високими витратами і критичною залежністю від конкретної платформи. Сервісна модель є найменш затратною, проте менш стійка до змін. Гібридна архітектура виявилась найбільш збалансованою за критерієм «цінність – витрати» та має найнижчі ризики масштабування. Отримані результати є корисними для проектування ситуаційних центрів у структурах Національної поліції, Державної прикордонної служби та Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Перспективи подальших досліджень включають впровадження гібридної архітектури в реальних умовах та розширення критеріїв оцінювання з урахуванням показників кіберстійкості.

Ключові слова: геоінформаційна система; архітектура інтеграції; інформаційна система; просторові дані; спосіб інтеграції програмних засобів; правоохоронні органи.

1. ВСТУП

Інтеграція геоінформаційних систем (ГІС) у функціональні інформаційні системи (ІС) правоохоронних органів набуває дедалі більшої актуальності у зв'язку зі зростанням значенням просторових даних для цифрової трансформації сектору безпеки. Геопросторові компоненти забезпечують ефективну підтримку прийняття рішень, ситуаційний аналіз, планування оперативного реагування та візуалізацію динаміки подій. У зв'язку з цим виникає потреба у визначенні оптимальних підходів до побудови архітектур взаємодії між функціональними підсистемами та геоінформаційними модулями.

Постановка проблеми. Незважаючи на наявність численних прикладних реалізацій, досі не існує єдиного підходу до вибору архітектури інтеграції ГІС у структуру функціональних ІС у сфері безпеки. Більшість реалізацій здійснюються ситуативно, без формалізованих критеріїв чи методик оцінки. Це призводить до надмірної залежності від окремих технологій, зростання витрат на адаптацію та недостатньої масштабованості рішень. У зв'язку з цим актуальним є дослідження ефективності різних архітектур на основі багатокритеріального аналізу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема інтеграції геоінформаційних компонентів у функціональні ІС висвітлюється у роботах як українських, так і зарубіжних дослідників. Зокрема, у [1] запропоновано загальну архітектуру взаємодії прикладних модулів і ГІС-компонентів, на основі якої сформовано три базові моделі способу інтеграції програмних засобів (СІПЗ).

У роботі [2] розглядаються питання використання просторових даних у безпекових ІС, з акцентом на прогнозно-аналітичні системи у надзвичайних ситуаціях.

Практичні аспекти реалізації інтегрованих ГІС у системах МВС наведено в [3], де розглядається приклад використання ГІС-інструментів в операційно-аналітичному середовищі правоохоронних органів. Питання планування архітектурного дизайну систем

із просторовими модулями докладно аналізуються у [4], [5], де обґрунтовано використання системної модульності та візуалізаційної інтеграції. У [6] детально розглянута архітектурна побудова ГІС у державних органах, з урахуванням рівнів доступу, класифікації даних та принципів інтероперабельності, описано моделі просторової оптимізації ресурсів.

Окрім публікації присвячені розширенню можливостей геоінформаційних систем у контексті суспільної безпеки, мобільної аналітики та інтеграції з відкритими платформами. Зокрема, у роботі [7] висвітлюється концепція «громадяни як сенсори», яка відкриває нові можливості для наповнення ГІС-даних через децентралізоване залучення користувачів – підхід, який особливо актуальний для систем ситуаційної обізнаності в умовах обмеженого доступу до формалізованих джерел. Цей підхід знаходить практичне застосування в умовах надзвичайних ситуацій, прикордонного моніторингу та оперативного реагування.

У публікації Чжан і Лі [8] детально проаналізовано проблему семантичної інтеграції геопросторових даних у контекстно-залежних середовищах, що є актуальним для побудови інтегрованих систем на стику класичних ІС та ГІС. Саме складність поєднання різних онтологій, форматів і структур даних становить серйозний виклик у разі впровадження архітектур типу СІПЗ-2 та СІПЗ-3.

У [9] комплексно розглядають підходи до побудови ситуаційної обізнаності у військовій та безпековій сфері України в умовах війни. Основна увага зосереджена на створенні та функціонуванні відкритих інформаційно-аналітичних платформ, зокрема «Кропива» та «Дельта», що базуються на компонентах QGIS, OpenStreetMap, Leaflet, Mapbox, а також публічних сервісах для обміну геопросторовими даними.

Окремо варто виділити аналітичні звіти ENISA [10], що містять рекомендації з питань стійкості геопросторової інфраструктури до кібератак і втрати даних. Це особливо важливо для обґрунтування критеріїв ризику в рамках експертної оцінки архітектур СІПЗ.

У статті [11] представлено концептуальну архітектуру системи аналітики даних для правоохоронців. Використовується багатокритеріальний (семантичний) підхід до інтеграції, що дозволяє обирати оптимальні канали доступу до різнотипних джерел (речові докази, бази даних, оперативні записи тощо). Особливу увагу приділено формалізації оцінювання якості інтеграції – з урахуванням критеріальних ваг, рівнів довіри, семантичного сумісництва та відповідності процедурній законності.

У [12] підкреслюється, що інтеграція ГІС-технологій із функціональними платформами управління у сфері громадської безпеки є не лише технічним викликом, а й соціотехнічною проблемою, що потребує міжвідомчої координації та відповідної нормативної бази.

Водночас огляд зазначених публікацій дає змогу стверджувати, що в них недостатньо висвітлено методологію порівняння ефективності різних архітектур СІПЗ у контексті правоохоронної діяльності. У сучасних джерелах відсутні формалізовані критерії вибору архітектури, а також немає системного аналізу взаємозв'язків між типом інтеграції, масштабованістю, витратами і ризиками при впровадженні.

Метою статті є обґрунтування архітектурних підходів до інтеграції геоінформаційних систем у функціональні інформаційні системи правоохоронних органів та подання результатів їх порівняльного аналізу за критеріями ефективності, витрат і ризиків.

Для досягнення поставленої мети реалізовано такі завдання:

проведено структурну класифікацію архітектур СІПЗ, а саме інтеграції прикладних функціональних застосувань (ПФЗ) і ГІС;

описано три типові моделі побудови СІПЗ (СІПЗ-1, СІПЗ-2, СІПЗ-3) із прикладами реалізації;

сформовано критерії оцінювання ефективності архітектур інтеграції (інтеграційна щільність, масштабованість, гнучкість, складність реалізації тощо);

побудовано аналітичні та графічні моделі порівняння архітектур;

сформульовано рекомендації щодо вибору архітектури залежно від умов і типу ІС правоохоронного призначення.

Отримані результати можуть бути використані для проектування нових ІС у підрозділах МВС, що працюють із просторовими даними та оперативною інформацією.

2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Попри розмаїття сучасних інструментів – ArcGIS, QGIS, GeoServer, MapInfo тощо – архітектура їх включення у прикладні ІС залишається нерегламентованою. У багатьох випадках ГІС-компоненти реалізуються як ізольовані візуалізаційні сервіси без повноцінного функціонального обміну з аналітичними та управлінськими модулями. Це призводить до низки проблем:

- дублювання даних у різних системах;
- складність обробки та синхронізації атрибутної та просторової інформації;
- обмежена масштабованість наявних архітектур;
- ускладнення технічного супроводу та модернізації.

У цьому контексті постає проблема вибору ефективної архітектури інтеграції ГІС у структуру прикладної інформаційної системи. Такий вибір повинен враховувати не лише технічні особливості програмних засобів, а й специфіку предметної області, організаційну структуру правоохоронного органу, наявні людські ресурси, вимоги до безпеки та гнучкості.

Розробка уніфікованих моделей архітектурної інтеграції геоінформаційних компонентів у прикладні ІС дозволить оптимізувати інформаційні потоки, зменшити витрати на обслуговування, підвищити ефективність аналізу та оперативного управління, а також забезпечити міжвідомчу сумісність систем.

Ефективна інтеграція геоінформаційних компонентів у структуру функціональних ІС правоохоронного призначення потребує чіткого розуміння можливих архітектурних підходів. Визначення типу архітектури інтеграції дає змогу проектувати ІС, адаптовані до специфіки завдань підрозділів МВС, ДПСУ, НГУ,

ДСНС, а також до технічних, кадрових та організаційних ресурсів.

Побудова геоінформаційно-орієнтованих інформаційних систем правоохоронного призначення вимагає чіткого структурування її основних функціональних і просторових компонентів. Для формалізації структури таких систем у дослідженні використано позначення, запропоновані в роботах В. А. Алексеєва та ін., які відображають ключові підсистеми інформаційної системи.

Зокрема, система умовно поділяється на чотири базові компоненти:

ГІС-К-1 (геоінформаційний компонент 1) – картографічний модуль, який забезпечує електронну візуалізацію об'єктів на мапі, відображення тематичних шарів, взаємодію з просторовими базами даних та геометричну прив'язку аналітичної інформації;

ГІС-К-2 (геоінформаційний компонент 2) – геобазу просторових даних, що містить векторні або растрові карти, координати об'єктів, топографічні плани, лінійні й полігональні елементи інфраструктури, зокрема прикордонної чи правоохоронної;

ПФЗ-К-1 (прикладне функціональне застосування 1) – аналітичний або розрахунковий модуль, який реалізує логіку обробки даних, моделювання сценаріїв, алгоритми реагування, зонального покриття, прогнозування дій тощо. Саме цей компонент містить специфіку предметної області (наприклад, моделі реагування підрозділу поліції на повідомлення про злочин);

ПФЗ-К-2 (прикладне функціональне застосування 2) – атрибутивна база даних, яка зберігає всі описові характеристики об'єктів (назви, типи, показники, стани, події), необхідні для обґрунтованого прийняття рішень. База може містити статистику правопорушень, облік мобільних груп, лог дій персоналу тощо.

Усі чотири компоненти взаємодіють між собою в рамках різних архітектур інтеграції. Тип і спосіб їх поєднання визначає архітектуру конкретної реалізації геоінформаційної системи. Відповідно, нижче наведено класифікацію можливих підходів до такої інтеграції.

2.1. Огляд архітектурних рішень та їх практична реалізація

На основі аналізу досліджень та практичних реалізацій виділяють три базові типи архітектур інтеграції:

Вбудовування функціонального модуля в ГІС-середовище (СПЗ-1, «ГІС-орієнтований варіант»)

Архітектура СПЗ-1 (рис. 1) передбачає, що функціональний модуль прикладного застосування (ПФЗ-К-1) розробляється як внутрішня частина програмного середовища ГІС-компонента (ГІС-К-1). Це означає, що аналітичні, обчислювальні або логістичні функції вбудовуються безпосередньо в ГІС-платформу. Іншими словами, аналітична або розрахункова логіка реалізується як частина програмного коду самої ГІС (наприклад, через ArcObjects у середовищі ArcGIS або PyQGIS у QGIS).

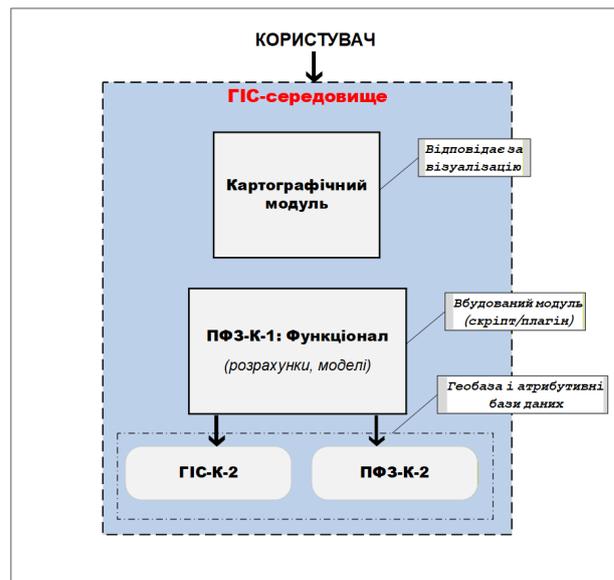


Рис. 1. Структура вбудованої інформаційної системи у ГІС-модуль (СПЗ-1)

Формалізований алгоритм для функціонування системи СПЗ-1 має такі елементи:

завантаження карти з векторними або растровими шарами;

виклик користувачем вбудованої функції (через кнопку, скрипт або макрос);

обчислення або аналітична дія (наприклад, розрахунок покриття мобільної правоохоронної групи);

виведення результату безпосередньо на мапу у вигляді нового шару або об'єкта;

Синхронізація інформації з таблицями бази даних (ПФЗ-К-2).

У таблиці 1 наведено приклади популярних ГІС-платформ, відповідні мови розширення та інструменти, які використовуються для вбудовування прикладного функціоналу (ПФЗ-К-1) безпосередньо в середовище ГІС-компонента (ГІС-К-1).

Таблиця 1

Середовища розробки функціональних модулів у ГІС-платформах

ГІС-платформа	Мова розширення	Технологія вбудовування
ArcGIS Pro	Python (ArcPy), VBScript, .NET	Add-In, Script Tool, ModelBuilder
QGIS	Python (PyQGIS)	Plugin, Processing Script
MapInfo	MapBasic, VBScript	Custom Tool
GRASS GIS	Bash, Python, C	Embedded Module

Відповідно до таблиці 1 можна обрати оптимальну реалізацію залежно від наявного досвіду та платформи, спрогнозувати ресурси на розробку та впровадження. Крім того, можна визначити технічну придатність СІПЗ-1 у межах конкретної ГІС.

Таке середовище реалізує одночасно:

відображення картографічних об'єктів (векторів, шарів);

прив'язку до геобаз (ГІС-К-2);

виконання специфічних прикладних функцій (розрахунок маршруту, моделювання покриття, аналіз зон ризику).

До переваг такого варіанта архітектури можна віднести: високий ступінь інтегрованості, єдиний інтерфейс взаємодії з користувачем, безпосередню прив'язку результатів розрахунків до картографічних об'єктів.

Недоліками слід зазначити: високі вимоги до кваліфікації програмістів; складність оновлення окремих компонентів; обмежену гнучкість під час модернізації системи.

Приклади застосування у правоохоронних структурах подібного варіанта архітектури:

АРМ оперативного чергового з функцією розрахунку радіуса реагування;

мобільні ГІС-пристрої прикордонних нарядів із вбудованим аналізатором місцевості;

станції прогнозування маршруту втечі за напрямком проникнення.

У завданнях правоохоронної діяльності роботу ПФЗ-К-1 у ГІС можна продемонструвати так:

Задача: розрахунок прогнозованого місця знаходження порушника за часом, напрямом і швидкістю з моменту фіксації події.

Модуль реалізує:

імпорт координати точки порушення;

побудову буферної зони з урахуванням часу та середньої швидкості;

створення шару «зона ймовірного знаходження»;

експорт результату у формат GeoPackage або WFS.

Функціональний модуль як окремий елемент (СІПЗ-2, «Файлова інтеграція»).

Архітектура СІПЗ-2 (рис. 2) передбачає, що функціональний модуль прикладного застосування (ПФЗ-К-1) працює як окрема програма або аналітичний сервіс, незалежний від середовища ГІС. Зв'язок між аналітикою та візуалізацією здійснюється опосередковано – через проміжні формати обміну (файли, спільну БД, сервіси API). Це дозволяє розв'язувати прикладні завдання (аналіз, моделювання, статистика) в окремому функціональному середовищі, а результати передавати до ГІС для відображення.

До переваг цієї архітектури відносять: незалежність модулів (можна змінювати ПФЗ без змін у ГІС); швидке розгортання (не потребує ГІС-програмістів); підтримка open-source інструментів (Python, QGIS, PostgreSQL).

Недоліками є: відсутність інтерактивності (немає зворотного зв'язку в реальному часі); ризики втрати синхронізації при зміні атрибутів; складність масштабування в багатокористувацьких середовищах.

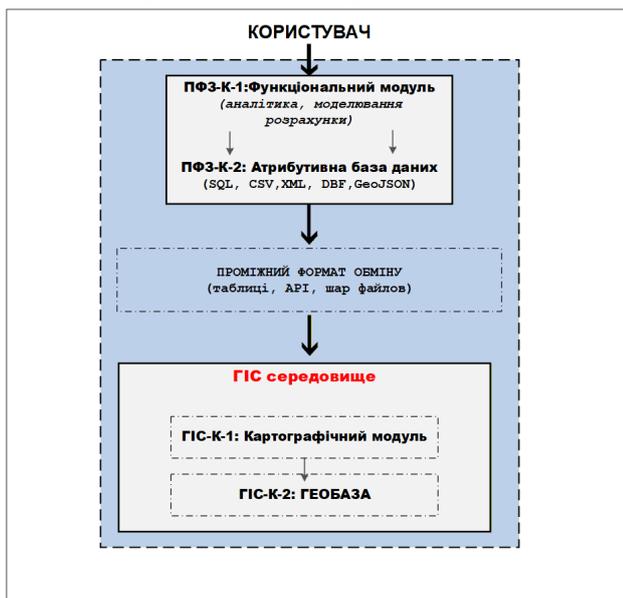


Рис. 2. Структура інформаційної системи спеціального призначення з винесеним функціональним блоком (СІПЗ-2)

Формалізований алгоритм для функціонування системи СІПЗ-2 має такі елементи:

користувач працює з прикладною системою, яка виконує розрахунки або обробку подій;

результати (наприклад, точки подій, маршрути, аналітичні зони) експортуються в проміжний формат;

ГІС-система імпортує або «читає» цей формат для візуалізації;

оновлення даних відбувається через повторне формування / заміщення обмінного файлу або запис у загальну БД.

У таблиці 2 наведено приклади реалізації зовнішньої взаємодії функціонального модуля (ПФЗ-К-1) з ГІС через проміжні формати обміну у межах архітектури СІПЗ-2. На відміну від підходу вбудовування, тут використовується асинхронний обмін даними за допомогою таблиць, текстових геоформатів, спільних баз даних або веб-інтерфейсів прикладного доступу (інтерфейсів інтеграції).

Вказана структура дозволяє гнучко будувати системи без щільного зв'язування між модулями. Головна перевага – можливість розділення обчислювального навантаження, масштабування компонентів та використання інструментів із відкритим кодом.

Прикладами застосування у правоохоронних структурах можна визначити статистичні ГІС-звіти з даних МВС, де файли формату CSV відображаються різними засобами візуалізації у програмному середовищі QGIS; моніторинг транспортних подій, де дані з GPS або Excel відображають карту подій; візуалізація правопорушень за районами (обмін через DBF-файл або PostGIS view).

Сценарій, який демонструє роботу архітектуру СІПЗ-2:

python-скрипт обробляє статистику правопорушень → експортує результат у GeoJSON;

QGIS імпортує GeoJSON → відображає зони з найбільшою щільністю інцидентів.

ГІС-компонент як візуалізаційний підмодуль, вбудований в основну прикладну ІС (СІПЗ-3, «ПФЗ-центрована інтеграція»).

Таблиця 2

Інструменти інтеграції ГІС і ПФЗ-К-1 на основі зовнішньої взаємодії

Функціональне середовище (ПФЗ-К-1)	Формати обміну	ГІС-платформа (ГІС-К-1)
Python (GeoPandas, Pandas)	CSV, GeoJSON, GPKG, WKT	QGIS, ArcGIS Desktop, Leaflet
MS Excel / LibreOffice Calc	CSV, XLSX → CSV	QGIS, MapInfo
PostgreSQL / PostGIS	Спільна БД, SQL Views	QGIS, ArcGIS Pro, OpenLayers
R (sf, tmap)	Shapefile, GeoJSON, RDS	QGIS, ArcMap
JavaScript (Node.js, Express)	REST API, JSON, GeoJSON	Leaflet, MapLibre GL JS
RPA/ETL-платформи (KNIME, FME)	GML, XML, JSON	QGIS, ArcGIS, GeoServer

Архітектура СІПЗ-3 (рис. 3) передбачає, що ГІС-компонент (ГІС-К-1) функціонує як візуалізаційний підмодуль, який вбудовується в основну прикладну інформаційну систему (ПФЗ-К-1). Це досягається за рахунок інтеграції GIS-контролів – спеціалізованих візуальних або API-компонентів (наприклад, OCX, ActiveX, .NET-контролів), які виконують функції картографічного відображення, навігації, шарового управління. При цьому вся аналітика, обробка атрибутів та моделювання залишається в ПФЗ-К-1, а ГІС використовується лише для виведення результатів на карту та взаємодії з просторовими об'єктами.

До переваг СІПЗ-3 належать: гнучкість – можна легко оновлювати функціональну частину або карту окремо; модульність – ГІС може використовуватись як плагін або бібліотека; паралельна розробка – аналітики працюють над логікою, а ГІС-фахівці – над візуалізацією; сумісність – легко підключається до існуючих систем (ERP, СУБД, CRM).

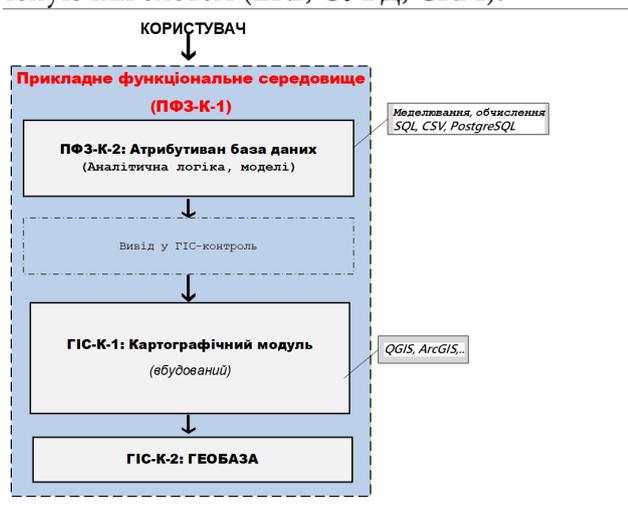


Рис. 3. Структура інформаційної системи спеціального призначення з ГІС-компонентом як візуалізаційним підмодулем

Недоліки та обмеження:

потреба в спеціалізованих ГІС (не всі ГІС це дозволяють);

необхідна стандартизація обмінних структур між модулями (API, дані);

вимагає синхронізації між поданням і даними, інакше виникає ризик неузгодженості.

Формалізований алгоритм для функціонування системи СІПЗ-3 має такі елементи:

користувач працює у зовнішньому програмному середовищі (наприклад, .NET, Java, Python UI);

вся аналітика та бізнес-логіка реалізується на рівні прикладного модуля;

GIS-контроль (візуальний компонент) підключається як OLE-об'єкт або API-компонент до інтерфейсу;

аналітичні дані виводяться на карту через інтерфейс GIS API або шляхом прив'язки до геобазы (ГІС-К-2);

користувач може взаємодіяти з картою: масштабування, вибір шарів, відображення результатів.

У таблиці 3 наведено приклади реалізації архітектури СІПЗ-3 у різних програмних середовищах. Зокрема, вказано типові функціональні платформи (наприклад, .NET, Python, Java, Web), ГІС-платформи, які можуть бути вбудовані як контрольні елементи (ArcGIS Engine, QGIS API, Leaflet), а також приклади практичного використання.

Таблиця 3

Вбудовані картографічні компоненти в інтерфейсах інформаційних систем

Функціональне середовище	ГІС-платформа	Приклад
.NET (WinForms, WPF)	ArcGIS Engine OCX, MapWinGIS	Додатки на C#, VB.NET
Python (Tkinter, PyQt)	QGIS Python API (QGIS, MapCanvas)	Інтерфейси спостереження / контролю
Java	OpenMap, GeoTools Swing	Java-додатки з вбудованою картою
Web (HTML/JS)	Leaflet, MapLibre, CesiumJS	Веб-ГІС-модулі в системах моніторингу
Delphi, C++ Builder	TatukGIS DK, ArcObjects	Інтегровані карти у настільні додатки

Ці технології дозволяють реалізувати інтеграцію карти у середовище прикладного застосування – як у вигляді окремого вікна в інтерфейсі користувача, так і як повноцінний елемент аналітичної панелі. Завдяки цьому досягається гнучка побудова ГІС-функціоналу без потреби прямого запуску ГІС-програми, що є характерною ознакою архітектури СІПЗ-3.

У прикладних завданнях можна продемонструвати роботу системи СІПЗ-3.

Задача. Вбудувати карту руху патрулів прикордонної служби у клієнтську ІС з диспетчерською панеллю.

ПФЗ-К-1 виконує розрахунки GPS-треків, оцінку покриття, відображає таблиці станів;

ГІС (наприклад, MapWinGIS) показує маршрути, позиції, ділянки відповідальності; користувач управляє шарами, переглядає атрибути, виконує навігацію без виходу з програми.

Для демонстрації практичної реалізації розглянутих архітектур СІПЗ у сфері діяльності підрозділів Міністерства внутрішніх справ України сформульовано типові прикладні сценарії (таблиця 4). Кожен сценарій ілюструє відповідність певної архітектури характеру завдань і функціональних потреб конкретної служби — ДПСУ, Національної поліції, НГУ та ДСНС. У таблиці узагальнено основні функції, що реалізуються в межах обраної моделі інтеграції, а також зазначено відповідний тип архітектури СІПЗ, який за-

безпечує найбільш ефективне впровадження у визначених умовах.

Для системного вибору архітектури інтеграції геоінформаційної системи у функціональне інформаційне середовище правоохоронних органів недостатньо лише опису структурних відмінностей. Кожна з моделей – СІПЗ-1 (вбудована), СІПЗ-2 (через проміжні формати/API) та СІПЗ-3 (візуалізаційна інтеграція) – має свої переваги та обмеження, які проявляються лише в контексті конкретних експлуатаційних умов. Тому доцільним є проведення комплексної оцінки ефективності цих архітектур за задалегідь визначеними критеріями, що охоплюють технічні, організаційні та експлуатаційні аспекти.

Оцінка запропонованих структур.

Вибір тієї чи іншої архітектури значною мірою впливає на функціональність, життєвий цикл та ресурсоемність проекту. Водночас ефективність не є одновимірною – вона залежить як від технічних характеристик, так і від організаційно-економічного контексту впровадження. Таким чином, постає необхідність зіставити їхню ефективність за ключовими параметрами.

Для обґрунтованого порівняння варіантів архітектур інтеграції програмних засобів (СІПЗ-1, СІПЗ-2, СІПЗ-3) було застосовано експертно-рейтингову модель багатокритеріального аналізу, яка дозволяє оцінити кожен архітектур за низкою техніко-функціональних параметрів (рис. 4).

Таблиця 4

Прикладні сценарії реалізації архітектур СІПЗ у підрозділах МВС України

Підрозділ МВС	Прикладний сценарій	Тип архітектури	Функції
ДПСУ	Моніторинг прикордонної обстановки	СІПЗ-1	GPS-треки, аналітика, охоплення камер
Національна поліція	Аналіз вуличної злочинності	СІПЗ-2	Гарячі точки, зонування, статистика
НГУ	Оперативна ситуаційна панель	СІПЗ-3	Геозони, розміщення підрозділів, маршрути
ДСНС	Картографічна підтримка аналізу надзвичайних ситуацій	СІПЗ-2/3	Небезпечні об'єкти, евакуація, погодні шари

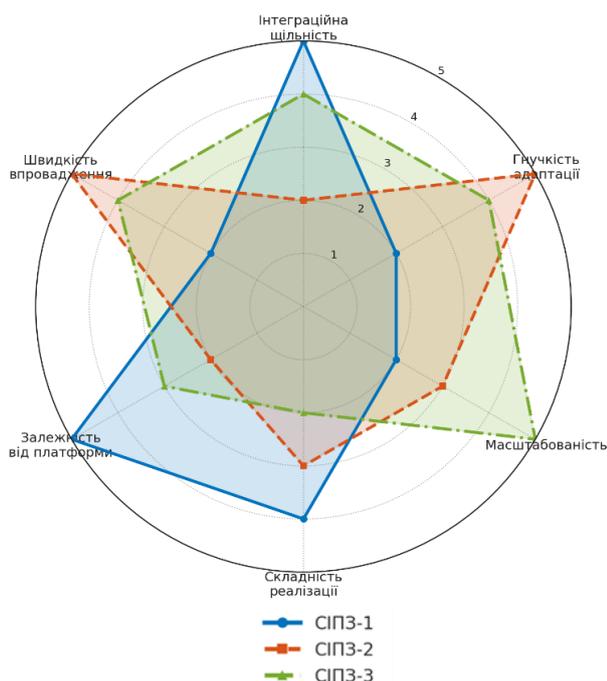


Рис. 4. Оцінка архітектур СІПЗ-1, СІПЗ-2 та СІПЗ-3 за інтеграційно-функціональними критеріями ефективності

Математична модель оцінки варіантів архітектур передбачає:

визначення множини критеріїв:

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\};$$

надання відповідності кожній архітектурі A_j оцінки $r_{ij} \in [1; 5]$, де: 1 – мінімальний рівень відповідності критерію; 5 – максимальний рівень ефективності за критерієм;

усі критерії в базовій моделі мають однакову вагу (можна уточнювати при застосуванні вагової моделі).

Для кожної архітектурі A_j формується вектор оцінок: $R_j = (r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{nj})$.

Для візуалізації багатовимірного порівняння використано полярну координатну систему. Математично точки для побудови кожного графіка визначаються як:

$$(x_i, y_i) = (r_i \cos(\theta_i), r_i \sin(\theta_i)), \quad (1)$$

де r_i – нормована оцінка критерію (1...5);

$\theta_i = \frac{2\pi}{N} i$ – кут для осі i , при N – кількості критеріїв.

На радарному графіку (рис. 4) наведено порівняльну візуалізацію ефективності трьох архітектур інтеграції програмних засобів – СІПЗ-1,2,3 – за шістьма ключовими критеріями: інтеграційна щільність – ступінь прямої взаємодії між компонентами функціонального модуля та ПС; гнучкість адаптації – здатність архітектури до змін, розширення і налаштування; Масштабованість – здатність системи ефективно працювати у разі збільшення обсягів даних або навантаження; складність реалізації – рівень технічної та організаційної складності впровадження; залежність від платформи – ступінь прив’язаності до конкретних ПС-продуктів або технологій; швидкість упровадження – очікувані часові витрати на реалізацію базової версії архітектури.

Кожна осьова лінія відповідає одному з цих критеріїв, а значення на шкалі (від 1 до 5) – це експертна оцінка, де 1 означає мінімальну відповідність, а 5 – оптимальну.

Вибір шести базових критеріїв ґрунтується на адаптації загально визначених параметрів з міжнародного стандарту ISO/IEC 25010:2011 (Software Product Quality), де визначено такі характеристики як функціональна сумісність, адаптивність, масштабованість, обслуговуваність тощо. Обрані критерії відображають як технічні параметри реалізації, так і експлуатаційні ризики, які є критичними для функціонування ІС у безпековому секторі.

Для здійснення об’єктивного порівняння трьох архітектурних моделей інтеграції програмних засобів (СІПЗ-1, СІПЗ-2, СІПЗ-3) було застосовано методіку експертного оцінювання. Усі оцінки експертів були зведені до узагальненої середньої матриці, результати якої подано в таблиці 5. Кожна клітинка таблиці відображає усереднений бал за відповідним критерієм для кожної архітектури.

Для забезпечення достовірності оцінювання було залучено 6 експертів у сфері проектування ІС та геоінформаційних технологій. Кожен експерт незалежно виставляв бали від 1 до 5 за кожним критерієм, після чого значення були нормалізовані й усереднені.

Таблиця 5

Результати експертного оцінювання архітектур інтеграції СПЗ за визначеними критеріями

Критерії	СПЗ-1	СПЗ-2	СПЗ-3
Інтеграційна щільність	5	2	4
Гнучкість адаптації	2	5	4
Масштабованість	2	3	5
Складність реалізації	4	2	3
Залежність від платформи	5	2	3
Швидкість упровадження	2	5	4

Узагальнена оцінка кожної архітектури обчислювалась за формулою:

$$Q_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N K_{ij}, \quad (2)$$

де Q_j – загальний бал архітектури j ; K_{ij} – оцінка i -го критерію для архітектури j ; N – кількість критеріїв (у базовій моделі – 6).

Оцінювання ефективності запропонованих архітектурних варіантів інтеграції ПС в інформаційну систему правоохоронних органів демонструє, що кожен із підходів має власні переваги.

Зокрема

СПЗ-1 забезпечує максимальну щільність взаємодії між модулями, але вимагає високих витрат і часу на реалізацію;

СПЗ-2 є найпростішою у впровадженні та найменш залежною від технологічної платформи, але демонструє обмежену інтеграційність і масштабованість;

СПЗ-3 виступає як збалансоване рішення, придатне для систем середньої та високої складності, що потребують гнучкості й довгострокового розвитку.

З метою комплексної оцінки доцільності використання кожної з архітектурних моделей СПЗ також проаналізовано витрати на впровадження та ризики супроводу та експлуатації. Результати подано у вигляді радарних діаграм (рис. 5 та рис. 6).

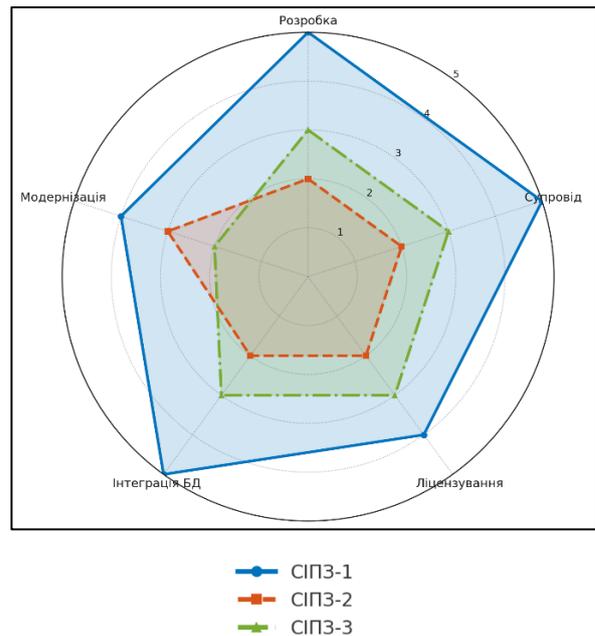


Рис. 5. Оцінка архітектур СПЗ за складовими затратами

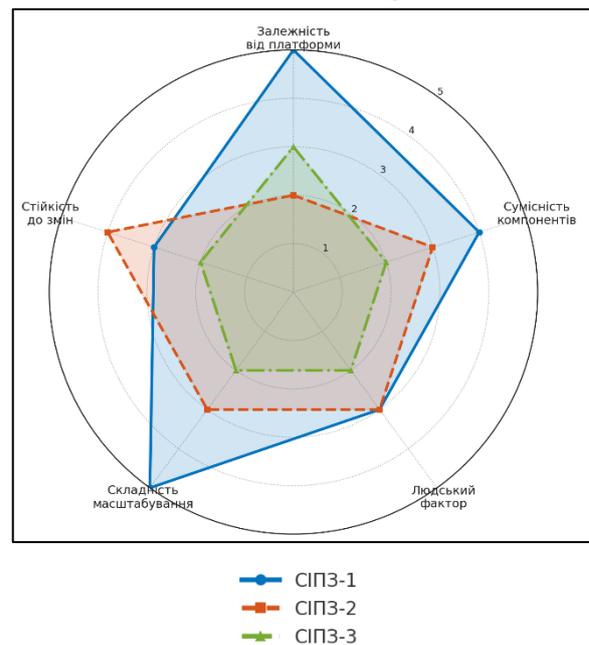


Рис. 6. Оцінка архітектур СПЗ за ризиками впровадження та експлуатації

На рис. 5 представлено результати порівняння архітектур СПЗ за витратними параметрами. Графік ілюструє експертну оцінку архітектур СПЗ-1, СПЗ-2 та СПЗ-3 за п'ятьма ключовими витратними показниками: розробка, супровід, ліцензування, інтеграція з базами даних, модернізація.

Архітектура СПЗ-1 має найвищі витрати через складну інтеграцію в середовище ПС та

високу вартість супроводу; СІПЗ-2 – найменш затратна, особливо для пілотних рішень; СІПЗ-3 – проміжний варіант з кращою модернізованістю та середнім рівнем витрат.

На рис. 6 узагальнено ризики реалізації кожної з розглянутих архітектур, що відображає їхній рівень за такими критеріями: залежність від програмної платформи, сумісність компонентів, людський фактор, складність масштабування, стійкість до змін.

Архітектура СІПЗ-1 має найвищі ризики через платформозалежність та високу складність модернізації; СІПЗ-2 – технічно менш ризикована, але потенційно менш стійка за складних сценаріїв. СІПЗ-3 забезпечує найкращий баланс між ризиками і стабільністю.

Оцінки були сформовані на основі експертного аналізу функціональних, технічних і організаційних властивостей кожного типу архітектури. Побудовані графіки дозволяють не лише виявити сильні та слабкі сторони підходів, а й забезпечують інструмент підтримки прийняття рішень у проектуванні ІС.

3. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У ході дослідження проведено систематизацію підходів до архітектурної інтеграції геоінформаційних систем у функціональні інформаційні системи правоохоронних органів. Запропоновано класифікацію трьох основних архітектурних рішень (СІПЗ-1, СІПЗ-2, СІПЗ-3), кожне з яких докладно описано з точки зору принципів побудови, способу взаємодії між ПФЗ і ГІС-компонентами, а також програмної реалізації. Результати багатокритеріального експертного оцінювання подано у вигляді матриць і радарних діаграм, що дозволяє здійснити наочне порівняння архітектур за показниками ефективності, витрат і ризиків.

Здобуті результати мають прикладне значення для правоохоронних органів, оскільки дають змогу обґрунтовано обрати архітектуру інтеграції ГІС залежно від специфіки завдань, наявних ресурсів та рівня ІТ-розвитку підрозділу. На прикладі ДПСУ, Національної поліції, НГУ та ДСНС продемонстровано, як обрана архітектура корелює з оперативними потре-

бами відповідного відомства. Запропонована методика може бути основою для впровадження стандартизованих рішень у рамках цифрової трансформації сектору безпеки.

У подальшому доцільно поглибити дослідження у сфері розробки формалізованих моделей вибору архітектури інтеграції з урахуванням динамічних критеріїв, таких як стійкість до змін, сумісність з іншими відомчими ІС та витрати на перенавчання персоналу. Перспективним є вивчення гібридних рішень на базі відкритих ГІС-платформ і розширення сценарного моделювання для складних міжвідомчих систем.

Список використаних джерел

1. Алексеев В. А., Мостовий В. В., Терещенко В. С., Машкін Р. О. Особливості побудови інформаційних систем з застосуванням ГІС-технологій. *Проблеми програмування*. Спецвип. 2008. № 2–3. С. 483–492.
2. Хахановський В., Корзун В. Геоінформаційна система як складова єдиної комп'ютерної інформаційної системи правоохоронних органів. *Правова інформатика*. 2008. № 1. С. 62–66.
3. Гончарук О. М. Основні компоненти забезпечення ефективної діяльності підрозділів кримінального аналізу Національної поліції України. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. Серія: Право. 2025. Вип. 50(1). С. 123–128.
4. Brail R. K., Klosterman R. E. *Planning Support Systems: Integrating Geographic Systems, Models, and Visualization Tools*. Redlands, CA : ESRI Press, 2001. 472 p.
5. Даншина С., Андреев С., Горелик С., Нечаусов А., Прийма А. Геоінформаційні технології для інженерногеодезичних вишукувань у процесі модернізації залізничної інфраструктури України. *Інформаційні технології, системи і технології*. 2024. № 4. С. 39–43.
6. Споришев К. О. Геоінформаційні системи в державному управлінні діяльністю сил безпеки України. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського*. Серія: Публічне управління та адміністрування. 2024. Т. 35(74), № 1. С. 34–42.
7. Goodchild M. F. Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*. 2007. Vol. 69, Issue 4. P. 211–221.

8. Zhang J., Li Y. Semantic integration of geospatial data in context-aware environments. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2013. Vol. 84. P. 61–74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.07.001>

9. Путренко В., Пашинська Н. Military Situation Awareness: Ukrainian Experience. *Applied Cybersecurity & Internet Governance*. 2024. Т. 3, № 1. С. 122–146.

10. European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). Good practices for the security of smart cities and critical infrastructure. URL: <https://www.enisa.europa.eu/publications> (дата звернення: 01.06.2025).

11. Stumptner M., Mayer W., Grossmann G., Liu J., Li W., Casanovas P., De Koker L., Mendelson D., Watts D., Bainbridge B. (2017). An Architecture for Establishing Legal Semantic Workflows in the Context of Integrated Law Enforcement. URL: <https://arxiv.org/abs/1708.06613> (дата звернення: 09.06.2025).

12. Müller M. Cross-agency interoperability in GIS-based public safety systems. *International Journal of Information Management*. 2022. Vol. 66. Article 102592.

Diakov A. ARCHITECTURES FOR INTEGRATING GIS COMPONENTS INTO INFORMATION SYSTEMS OF LAW ENFORCEMENT AGENCIES

The article addresses the issue of architectural integration of geographic information systems into functional information systems of Ukrainian law enforcement agencies. Given the increasing demand for spatio-temporal situational awareness, establishing interoperability between GIS modules and analytical platforms becomes essential for the effectiveness of digital transformation in the security sector. The purpose of the study is to conduct a comparative analysis of three integration approaches – tight in-application embedding of the GIS module, service-oriented communication via message bus, and an event-driven hybrid model – evaluated by efficiency, cost, and risk criteria. To achieve this goal, a multi-criteria expert evaluation was conducted with domain specialists, using six indicators: integration density, adaptability, scalability, implementation complexity, platform dependence, and deployment speed. The evaluation results were normalized on a five-point scale and visualized using radar charts. Additionally, risk profiles and cost structures for each architecture were analyzed. The tightly embedded architecture offers the highest integration but involves significant cost and strong platform dependence. The service-oriented model is the most cost-effective, yet less resilient to technological changes. The hybrid event-driven architecture demonstrated the most balanced cost–value ratio and the lowest scalability risks. These findings can be used in the design of situational centers for the National Police, Border Guard Service, and Emergency Service. Further research should focus on piloting the hybrid architecture in real-world conditions and extending evaluation criteria to include cyber resilience indicators.

Keywords: geoinformation system; integration architecture; information system; spatial data; method of software integration; law enforcement.

References

1. Alekseev, V. A., Mostovyi, V. V., Tereshchenko, V. S., & Mashkin, R. O. (2008). *Osoblyvosti pobudovy informatsiinykh system z zastosuvanniam HIS-tehnolohii* [Features of building information systems using GIS technologies]. *Problemy Programuvannia*, (2–3), 483–492. [in Ukrainian]
2. Khakhanovskiy, V., & Korzun, V. (2008). *Heoinformatsiina sistema yak skladova yedynoi kompiuternoi informatsiinoi systemy pravookhoronnykh orhaniv* [Geoinformation system as a component of the unified computer information system of law enforcement agencies]. *Pravova Informatyka*, (1), 62–66. [in Ukrainian]
3. Honcharuk, O. M. (2025). *Osnovni komponenty zabezpechennia efektyvnoi diialnosti pidrozdiliv kryminalnogo analizu Natsionalnoi politzii Ukrainy* [Key components of effective functioning of criminal analysis units of the National Police of Ukraine]. *Naukovyi Visnyk Uzhhorodskoho Natsionalnogo Universytetu. Serii: Pravo – Uzhhorod National University Scientific Bulletin. Series: Law*, (50)1, 123–128. [in Ukrainian]
4. Brail R. K., Klosterman R. E. (2001). *Planning Support Systems: Integrating Geographic Systems, Models, and Visualization Tools*. Redlands, CA : *ESRI Press*. [in English]
5. Danshyna, S., Andrieiev, S., Horelyk, S., Nechausov, A., & Pryima, A. (2024). *Heoinformatsiini tekh nolohii*

dliia inzhenerno-heodezychnykh vyshchukuvan u protsesi modernizatsii zaliznychnoi infrastruktury Ukrainy [Geoinformation technologies for engineering and geodetic surveys in the modernization of Ukraine's railway infrastructure]. *Informatsiini tekhnolohii, systemy i tekhnolohii – Information Technologies, Systems and Technologies*, (4), 39–43. [in Ukrainian]

6. Sporyshev, K. O. (2024). *Heoinformatsiini systemy v derzhavnomu upravlinni diialnistiu syl bezpeky Ukrainy* [Geoinformation systems in public administration of security forces in Ukraine]. *Vcheni Zapisky Tavriiskoho Natsionalnoho Universytetu imeni V. I. Vernadskoho. Serii: Publichne Upravlinnia ta Administruvannia*, 35(74)(1), 34–42. [in Ukrainian]

7. Goodchild M. F. (2007). Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, vol. 69, no. 4, pp. 211–221. [in English]

8. Zhang J., Li Y. (2013). Semantic integration of geospatial data in context-aware environments. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 84, pp. 61–74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.07.001> [in English]

9. Putrenko, V., & Pashynska, N. (2024). Military Situation Awareness: Ukrainian Experience. *Applied Cybersecurity & Internet Governance*, 3(1), 122–146. [in English]

10. European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). (2022). Good practices for the security of smart cities and critical infrastructure. Retrieved from: <https://www.enisa.europa.eu/publications>. [in English]

11. Stumptner M., Mayer W., Grossmann G., Liu J., Li W., Casanovas P., De Koker L., Mendelson D., Watts D., Bainbridge B. (2017) An Architecture for Establishing Legal Semantic Workflows in the Context of Integrated Law Enforcement. Retrieved from: <https://arxiv.org/abs/1708.06613>. [in English]

12. Müller M. (2022). Cross-agency interoperability in GIS-based public safety systems. *International Journal of Information Management*, vol. 66, Article 102592. [in English]

Дата надходження статті до редакції:
11.07.2025

Дата прийняття подання до публікації:
25.08.2025

Дата публікації: 30.12.2025

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.en>

