
МЕТОДОЛОГІЯ КЕРОВАНОЇ МОДЕЛЯМИ ПРОГРАМНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ У КАРКАСНОМУ ПІДХОДІ

О. П. ДИШЛИК,

виконавчий директор, ТОВ «Геоматичні рішення»,

E-mail: dyshlyk@geomatica.kiev.ua

ORCID: 0000-0002-8066-3925

В. С. ЧАБАНЮК,

кандидат фізико-математичних наук,

старший науковий співробітник,

Інститут географії Національної академії наук України,

E-mail: chab3@i.ua

ORCID: 0000-0002-4731-7895

Анотація. Продовжено дослідження «Каркасного підходу поводження з (ієрархічними) просторовими інформаційними системами (ПрІС)», далі – Каркасного підходу. До цього розглянуто сутності Каркасного підходу, що відносяться до верхніх ешелонів його епістемологічної ієрархії. А саме, до (назва статті, що відповідає ешелону, наведена в лапках «...»): 1) першого ешелону – «Каркасний підхід як стратегія дослідження і проектування складних ПрІС (на прикладі НІГД)»; 2) знову першого ешелону – «Каркас Рішень Microsoft (KaPi М - MSF) як Узагальнена методологія Каркасного підходу поводження з ПрІС»; 3) другого ешелону – «Стандартизація методології MSF Agile з допомогою стандарта ISO/IEC 24744»; 4) третього ешелону – «Застосування методик Каркасного підходу при створенні ПрІС з використанням сучасних технологій Microsoft». Ешелони об'єднують групи користувачів моделюючої системи. Їм відповідають втрати цієї самої системи.

Три з чотирьох згаданих статей суттєво використовують спеціальні знання про MSF і про сучасні інформаційні технології (IT) Microsoft. Щоб зменшити залежність від цих знань, у даній статті ми скористалися «нейтральними» знаннями про методології розроблення програмного забезпечення. Для цього через «каркасну призму» розглядається так звана Керована Моделями Програмна Інженерія (КМПІ). Остання співвідноситься з Базованою на Моделях Системною Інженерією (БМСисІ) і, більш загально, з Базованою на Моделях Інженерією (БМІ). Їх розуміння потрібне для створення власної методології, яка називається методологією Базованої на Патернах Просторової Інженерії (БППРІ). БППРІ включатиме методики розширення ПрІС, про які згадувалося у наших роботах раніше. Більше того, вказані методики вже використовувалися нами на практиці інколи без асоціації з якоюсь методологією. При цьому потрібно зауважити, що наші методики розширення ПрІС застосовуються до конструкцій, які вже структуровані в результаті використання так званого Каркасу атласних рішень AtlasSF.

Ключові слова: методологія Керованої на Моделях Програмної Інженерії (КМПІ), Концептуальний Каркас КМПІ, методика розширення ПрІС.

Вступ

У статті [1] порівнюються поняття «підхід» і «методологія», які близькі між собою, але методологія є практичнішим поняттям. Там методологія: 1) відноситься до конкретних процедур, методів та певних інструментів, які використовуються для виконання конкретного завдання або дослідницького проекту; 2) є систематичним і структурованим способом збору даних, аналізу інформації або вирішення проблеми; 3) є більш детальною та практичною порівняно з підходом, окреслюючи покроковий процес, який потрібно виконувати для досягнення цілей підходу; 4) включає в себе методи, техніки та інструменти, які будуть використовуватися для збору та аналізу даних, перевірки гіпотез або досягнення висновків. У словниках [2] МЕТОДОЛОГІЯ (від грецьк. μέθοδος – метод, шлях дослідження чи пізнання, λόγος – вчення; разом - вчення про метод) - Сукупність підходів, способів, методів, прийомів та процедур, що застосовуються в процесі наукового пізнання та практичної діяльності для досягнення наперед визначеної мети.

Термін «підхід» у цитованій статті розумівся в трьох смислах: 1) як стратегія використання ГеоІнформаційних Систем і Технологій (ГІСіТ) в управлінні великими територіями (ВТ) України; 2) як методологія Каркасного підходу до поводження з ПрІС, що узагальнює методологію Каркасу Рішень Microsoft (KaPi M - MSF); 3) як загальний (γ -) метод дослідження складних просторових явищ і проектування їх моделей (ПрІС) з використанням Концептуальних каркасів «предмета Х» і Кар-

касів рішень «предметів ХУ», де Х може приймати значення як НІГД, НІПІ, так і інших досить довільних ПрІС. Ще одна зміна предмета Х залежить від змін значень У, що позначають належність до страти. Тобто, ХУ використовуються для позначення різних значень предмета Х, які можуть залежати від значень страти У.

Методики розширення ПрІС ввійдуть у методологію Базованої на Патернах Просторової Інженерії (БППрІ). А ПрІС включають Національну Інфраструктуру (НІ) Геопросторових Даних (НІГД) і НІ Просторової Інформації (НІПІ). БППрІ розробляється нами зараз. Вона буде спеціалізацією методології Базованої на Моделях Системної Інженерії (БМСІ). Розраховуємо, що огляд методології створення ПЗ з «нейтральної» точки зору доповнить розуміння методології MSF Agile [3] і допоможе прояснити методики розширення ПрІС. Зрозумілішими стануть методика Каркасного підходу при створенні ПрІС з використанням сучасних технологій Microsoft [4] та загальний (γ -) метод дослідження і проектування з використанням Концептуальних каркасів «предмета Х» і Каркасів рішень «предметів ХУ».

Актуальність і аналіз останніх досліджень та публікацій

Актуальність роботи витікає з наведеної далі еволюції Каркасного підходу, який з роками стає все важливішим. Це пояснюється як розширенням області і предметів досліджень, так і покращенням якості моделюючих рішень. Каркасний підхід до дослідження і проектування ПрІС розпочинався на межі тисячоліть з

Каркасу Рішень (KaPi) предметів X, де X набувала значень спеціалізованих ПрІС, наприклад, Електронних Атласів (ЕА). З роками усвідомлено, що KaPi X[Y] можливо інтерпретувати як системні методи оперування (створення, експлуатація, тощо) ПрІС в рамках окремих інформаційних проектів. Предметами такого проекту є не тільки система в цілому, а й її продукти або підсистеми, які позначалися XY, де Y могла змінюватися залежно від значення X. Другою групою системних методів Каркасного підходу є методи Концептуальних каркасів предметів X. На даний момент ми вже опублікували дві статті про актуальний стан Концептуальних каркасів, причому у другій статті [5] виконана формалізація.

Перед викладом основного матеріалу хочемо нагадати Класичну Модель Каркасу Рішень предметів X[Y] (Рис. 1), яка використовується нами протягом останніх 25 років. Переважно Модель Каркасу Рішень найчастіше використовується у практиці створення різних ПрІС (предметів X), що позначалося KaPi ПрІС. Серед ПрІС особлива увага приділялася

«класичним» Атласним ПрІС: Електронним Атласам (ЕА) і Атласним Інформаційним Системам (АтІС).

KaPi Атласних ПрІС суттєво використовувалися в наших останніх роботах. Зокрема, у проекті Національного Фонду Досліджень України 2022.01/0121, який виконано у Інституті географії [6]. Недавно еволюція каркасів ПрІС призвела до так званого «Каркасного підходу до дослідження і проектування (довільних, а не тільки Атласних) ПрІС» [1]. Якщо звести розуміння Каркасного підходу до набору однорідних Каркасних методів, то справедливим буде Рис. 2.

Права частина Рис. 2 показана видозміненою петрадою «класичної» моделі KaPi X (Рис. 1), і позначена записом $\alpha|\beta|\gamma$ KaPi червоним кольором. Це значить, що однакова петрада використовується для представлення γ KaPi, β KaPi і α KaPi. γ , β , α , позначають також пов'язані з методами (див. далі) ієрархічні страти моделюючої ПрІС: Загальну, Концептуальну, Аплікаційну, і/або відповідні їм ешелонами груп користувачів. На практиці стратифікована результуюча ПрІС отримується застосуванням

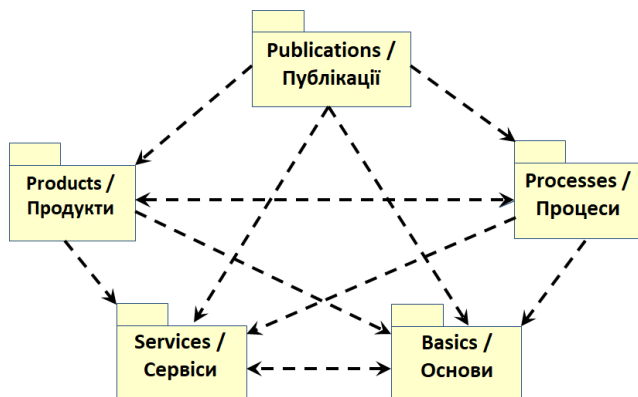


Рис. 1. (Класична) Модель Каркасів Рішень (KaPi) предметів X /

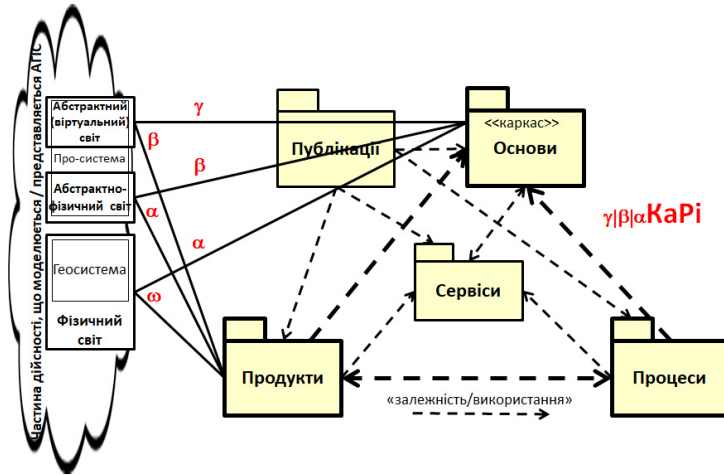


Рис. 2. $\alpha|\beta|\gamma$ KaPi як методи дослідження, разом – підхід KaPi

певної методики розширення. Розширення може виконуватися: 1) «знизу-вгору», від Електронного Атласу або Атласної Інформаційної Системи (ЕА або АТІС, α) до ГеоІнформаційної Платформи (ГП, γ). Називається Атласним Розширенням (АТРo); 2) «згори-вниз», від ГП до ЕА/АТІС. Називається ГеоІнформаційним Розширенням (ГІР); 3) комбінуванням 1) і 2) між різними стратами.

Підхід KaPi X показано як набір наступних методів дослідження дійсності: 1) γ -метод - відношення між Абстрактним (віртуальним) світом і γ -Основами. γ -Основи включають патерни β -Продуктів і β -Процесів. Якщо контекстом є створення ЕА/АТІС, то γ -Основи включають також патерн Базової карти, яка/які використовується в ЕА/АТІС; 2) β -метод – два відношення: між Абстрактно-фізичним світом (АФС) і β -Основами, і між АФС і α -Продуктами. Наявність цих двох відношень пояснюється існуючою практикою використання двох видів моделювання: онтологічного або лінгвістичного; 3) α -ме-

тод - два відношення: між Фізичним світом (ФС) і α -Основами і між ФС і ω -Продуктами.

Конкретизація Рис. 2 показана на Рис. 3. Її потрібно сприймати як пояснення частини Каркасного підходу до дослідження і проектування ПрІС. Використовуються патерни трьох видів: 1) аналітичні патерни, або γ -патерни, або патерни Загальної страти; 2) патерни проектування або β -патерни, або патерни Концептуальної страти (наприклад, GeoSF); і 3) аплікаційні патерни, або α -патерни, або патерни Операційної страти (наприклад, AtlasSF 1.0). Номер версії 1.0 AtlasSF дозволяє відділити α KaPi від KaPi вищих страт. Справа в тому, що AtlasSF може бути підходом, методом і засобом [6]. У даній статті α KaPi AtlasSF1.0 узгоджується з ФреймворкамиПрІС (див. далі).

Щоб розібратися з практикою застосування Каркасного підходу використовується ієрархія конкретних, доволі загальних ПрІС, які належать до множини Атласних ГеоІнформаційних Систем (АГІС) Великих Те-

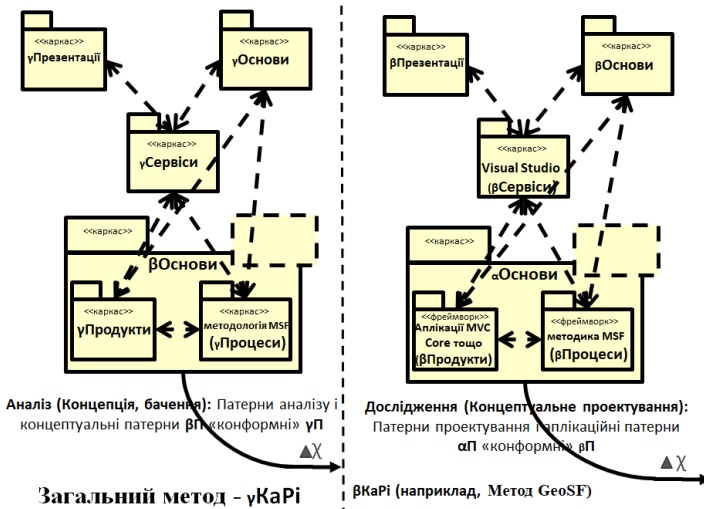


Рис. 3. Приклад методів γ КаРі і β КаРі. Використання Visual Studio, методології MSF, аплікацій MVC Core і методики MSF описані в [4]

риторій (ВТ) – АГІС ВТ. АГІС ВТ включає як усі відомі нам класичні Атласні Системи, так і, крім інших, деякі «некласичні» ПрІС.

Наша практика досить давно матеріалізується через інформаційні (інформаційно-програмні) системи, тому й перші представлення про КаРі X ми отримали з практики виконання інформаційних проектів, що співвідносяться з методикою розширення «знизу-вгору». «Практично» одразу з практичною реалізацією розпочалося «теоретичне» представлення про патерни. Це був початок руху за напрямком «згори-вниз», або від теорії до практики.

Мета дослідження. Метою роботи є опис однієї з методологій «Каркасного підходу до дослідження і/або проектування ПрІС». Вона акцентована на підмножині ПрІС - програмних системах, і відома як Базована на Моделях Програма Інженерія (БМПІ). Завдяки показаному

співвідношенню з Концептуальним каркасом, БМПІ може розглядатися з точки зору її можливого використання у створюваній нами Базованій на Патернах Просторовій Інженерії (БППрІ).

Матеріали і методи дослідження

У роботі використовуються два системних каркасних методи: Концептуальних Каркасів (КоКа) і Каркасів Рішень (КаРі) [7]. Практика і методологія розуміються як складові ієрархії взаємозалежних понять, як показано на Рис. 4. На ньому порівняно з оригіналом у статті [1]: 1) змінено підпис, хоча правильним був би також «Приклад застосування системного метода КоКа до АГІС-ВТ»; 2) Метод/Практика/Технологія/ФреймворкПрІС тепер вказує на три ешелони (у оригіналі вказувався тільки Операційний ешелон): 2.1)

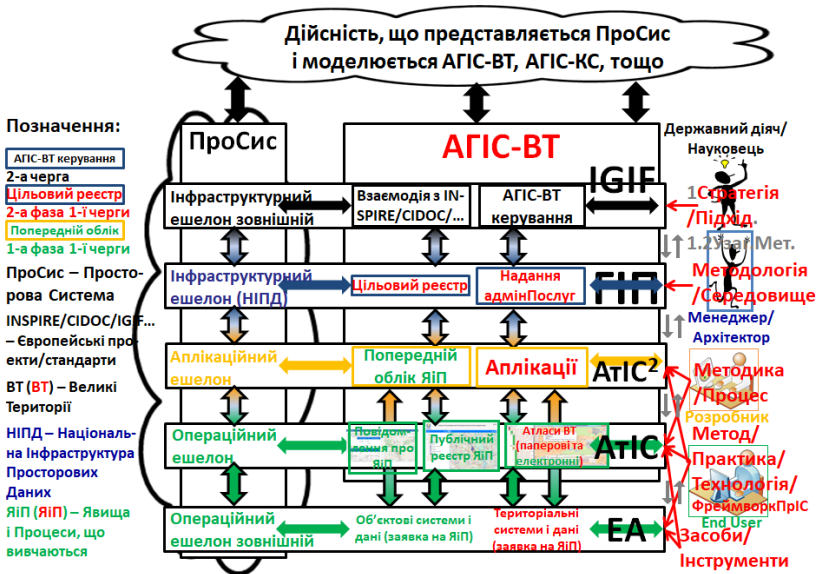


Рис. 4. Ієрархія страт і ешелонів АГІС на прикладі АГІС-ВТ

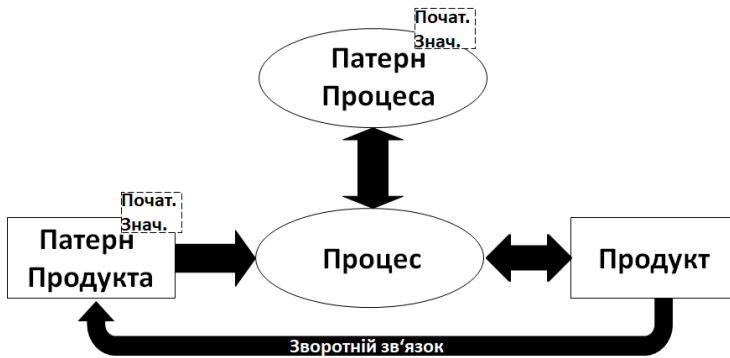


Рис. 5. Схеми застосування патерна

Операційний ешелон зовнішній, 2.2) Операційний ешелон, 2.3) Аплікаційний ешелон; 3) до Метод/Практика/Технологія додано Фреймворк-PrC.

Обидва системних каркасних методи застосовуються так, як для довільного патерна у нотатції UML показано на схемі Рис. 5. Показані пунктиром прямокутники можуть використовуватись для позначення початкових значень патернів.

Наприклад, у статтях [8] схема Рис. 5 показана так, як на Рис. 6. Звертаємо увагу, що «продуктивним» патерном АГІС (патерном продукта) є Атласна ГеоІнформаційна Модель (АГІМ), початковим значенням якої показана (у пунктирному прямокутнику) Електронна версія Національного Атласу України (ЕлНАУ).

У статтях [8] описані продуктивні і процесні концептуальні положення першої черги АГІС Культурної Спад-

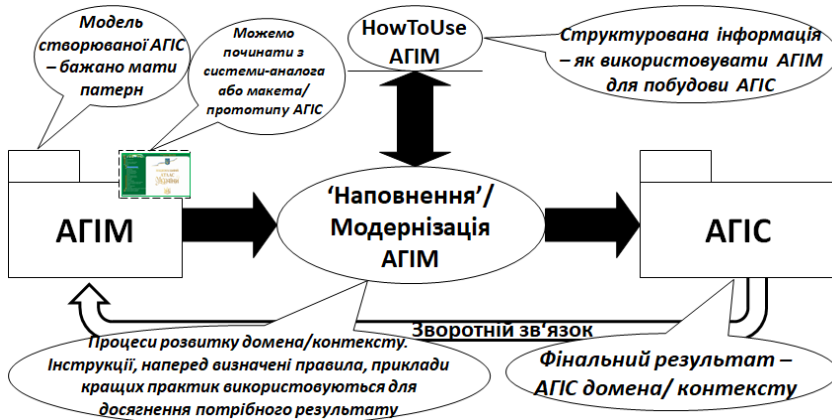


Рис. 6. Застосування KaRi у випадку діяльності зі створення АГІС

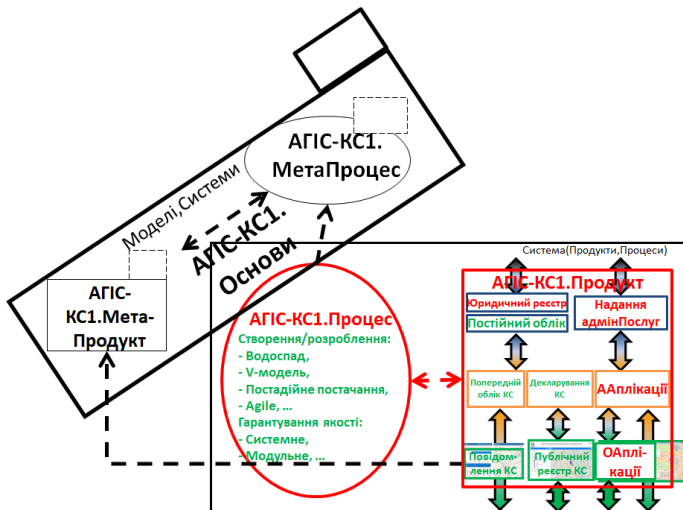


Рис. 7. Застосування KaRi у проекті АГІС-КС1

щини України – АГІС-КС1, які компактно показані на Рис. 7.

АГІС є акронімом Атласних ГеоІнформаційних Систем. Це дуже широкий клас ПрІС, який включає усі Атласні Системи, які ми реалізували і які є практичними прикладами. Термін «Практика» позначає сутність, яка в «епістемологічній» ієрархії (ієрархії знань) знаходиться у одному ешелоні з сутностями «Метод» і «Технологія», як показано на

Рис. 4. Для інтерпретації сутностей у якості прикладу задіяно спеціальний клас так званих АГІС Великих Територій (АГІС ВТ), де ВТ може бути країною чи «керованим» регіоном. АГІС є ієрархічною інтегрованою системою просторових інформаційних систем (ПрІС), де на найнижній страті ієрархії як правило знаходяться Електронні Атласи (ЕА), а ПрІС вищих рівнів є певними узагальненнями ЕА, серед яких є Атласні Ін-

формаційні Системи (АтІС), ГІС, чи ГеоІнформаційні Платформи (ГПІ). Термін «певні» тут означає, що узгалянення здійснюється з використанням таких відомих в інформатиці відношень як «класифікація» чи «конформність». Для менш формалізованих відношень використовується термін «метасистемність».

Інтерес до методології «Каркасного підходу до дослідження і/або проектування ПрІС» пояснюється необхідністю задоволення потреб створюваної нами методології так званої «Базованої на Моделях Просторової Інженерії» (БМПІ). Вона буде включати три методики розширення ПрІС: Атласне Розширення АтРо (АтЕх), ГеоІнформаційне Розширення ГІР (ГІЕ), Комбіноване Розширення, тому вона де факто включатиме ще й «методологією розширення». Зауважимо знову, що «розширення» виконується для ПрІС, отриманих з допомогою Каркаса атласних рішень AtlasSF. Використання конкретної версії AtlasSF не є обов'язковим, однак застосування якогось КаРі є необхідним.

Наша методологія повинна буде оперувати як ПрІС, так і ПрІС у розширеному розумінні (ПрІСш). Можлива методологія БМПІ буде частиною Базованої на Моделях Системної Інженерії (БМСіІ) [9], у якій буде враховуватися Базована на Моделях Програмна Інженерія (БМПІ) у вигляді [10] (наводимо обидва посилання через деякі граматичні помилки у другій редакції).

Ми вже маємо досвід застосування «практики» створення ієрархічної (складної) ПрІС, тому можемо досить чітко описати процес створення цієї ієрархічної ПрІС, який і яка однозначно існують. А якщо існують і

процес і практика, то має існувати і методологія. Вважаємо, що станом на початок 2026 р. її потрібно тільки довізначити і описати. Цього достатньо, щоб аргументовано використовувати термін «підхід» і називати його (як і стратегію) конструктивним.

На даний момент наш підхід можемо назвати також «Каркасным підходом розширення (Атласних і ГеоІнформаційних Систем)», не зупиняючись на додаткових поясненнях причин такої назви. Він базується на каркасних методах з двох груп, кожного однорідного стосовно предмета: 1) Концептуальних Каркасів Х, 2) Каркасів Рішень Х[У]. Хоча сам підхід не можна назвати набором однорідних методів, оскільки в першому випадку предметом є Х, а в другому – Х[У]. Загалом, каркасними називаються рішення, отримані застосуванням одного з двох або обох каркасів (причому, довільну кількість разів). Поняття Х пояснювалось кілька разів раніше. Поняття Х[У] розбивається на два поняття зі змінними значеннями. У показує залежність від значення (ієрархічної) страти, тому КаРі ХУ може називатись так: [Загальний (γ) | Понятійний (β) | Аплікаційний (α) | Операційний (ω)] Каркас Рішень страти $Y = \gamma, \beta, \alpha, \omega$, Предмета Х.

Маємо зауважити, що результати даної статті показують неоднозначність можливої методології поводження з ПрІС. Потрібно врахувати, які мінімум, дві точки зору: спеціалізацію мета-методології Microsoft і «пряме» застосування Керованої Моделями Програмної Інженерії, яка описана в монографіях [9] і яка розглядається нижче.

З початку століття ми застосували екземпляри обох Каркасів

(КоКа і КаРі) у багатьох проектах створення або експлуатації предметів X і/або X[Y]. Фактично одразу після виявлення перших КаРі розпочалися узагальнення, які можливо об'єднати у два напрямки, однорідні за якимось критерієм: 1) предметним, або 2) процесним.

Результати дослідження

Методологія КМПІ через «призму» Каркасного підходу

Базована на моделях інженерія (БМІ) (МВЕ - Model-Based Engineering) визначається як: «Підхід до інженерії, який використовує моделі як невід'ємну частину технічного базису (baseline), що включає вимоги, аналіз, проектування, впровадження та перевірку властивостей системи та/або продукту протягом життєвого циклу її/його здобуття (acquisition)» [11]. Звертаємо увагу, що усі «серйозні» моделі життєвого циклу системи/продукта обов'язково включають фази дослідження, розроблення і підтримки. БМІ стверджує, що на кожній з цих фаз мають існувати відповідні моделі системи.

Методологія БМСисІ (Базованої на Моделях Системної Інженерії - MBSysE Methodology) визначається

через процес, метод та інструмент (технологію) так [11]:

- Процес – Логічна послідовність задач, які виконуються для досягнення певної цілі. Процес визначає «ЩО» має бути зроблено без специфікації/конкретизації «ЯК» кожна задача має бути виконана.

- Метод – Складається з технік/способів/засобів виконання задачі, «ЯК» кожної задачі. Терміни «метод», «техніка/спосіб/засіб», «практика» і «процедура» можуть використовуватись взаємозамінно у даному контексті.

- Інструмент – Знаряддя, що застосовується у конкретному методі, і може підвищити ефективність задачі. Таким чином, методи допомагають подолати розрив між процесом і інструментами. Метою інструменту має бути сприяння виконанню «ЯК».

- Методологія – Визначається як набір/колекція пов'язаних процесів, методів, і інструментів.

Методологія БМСисІ коротко описана в [1] за [11]. Тут ми розглядаємо знову таки коротко методологію Керованої Моделями Програмної Інженерії (КМПІ, Model-Driven Software Engineering - MDSE), використовуючи монографії [10]. Отриманий за [10; fig. 2.1] Рис. 8а візуально пред-

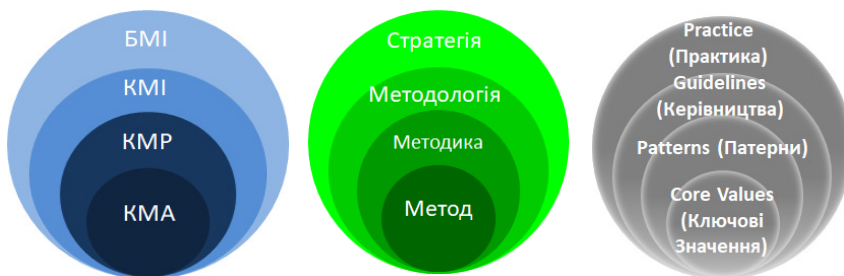


Рис. 8. Ієрархія понять в різних сферах діяльності: а) Відношення між різними англійськими акронімами М* в БМІ (МВЕ) [10; fig. 2.1]; б) ієрархія сутностей Каркасного підходу; в) ієрархія понять РВЕ

ставляє відношення між, по суті, підходами до моделювання, які на англійській мові позначаються акронімами M*. Тут нас найбільше цікавить MDSE (KMPI), яка є різновидом MDE (KMI). Однак, не варто забувати про Рис. 8б і Рис. 8в.

На Рис. 8б показане відношення між сутностями ешелонів Каркасного підходу. Ешелонам відповідають страти моделюючої системи: Загальна (General, γ), Концептуальна (Conceptual, β), Аплікаційна (Application, α), Операційна (Operational, ω). Рис. 8в показує відношення основних понять так званої Базованої на Патернах Інженерії (PBE - Pattern Based Engineering). В оригіналі [12] він називався «A model bringing together the key elements that support our PBE efforts».

Оригінальна KMPI (MDSE)

За [10] MDSE (KMPI) можна визначити як методологію* застосування переваг моделювання до діяльності програмної інженерії. Загалом, методологія включає такі аспекти: 1) Поняття: Компоненти, що формують методологію, охоплюють діапазон від мовних артефактів до акторів тощо; 2) Нотації: Спосіб представлення понять, наприклад, мови, що використовуються в методології; 3) Процес та правила: Дії, що призводять до виробництва кінцевого продукту, правила їх координації та контролю, а також твердження щодо бажаних властивостей (правильність, узгодженість тощо) продуктів або процесу; 4) Інструменти: Аплікації, що спрощують виконання дій або їх координацію, охоплюючи процес ви-

робництва та підтримуючи розробника у використанні нотацій.

У контексті MDSE основними поняттями є: моделі та трансформації (тобто, операції маніпулювання моделями). Усі ці поняття пов'язані між собою, як витікає з відомого рівняння Ніклауса Вірта: Algorithms + Data Structures = Programs. У контексті MDSE найпростіша форма цього рівняння виглядатиме так: Models + Transformations = Software.

Кероване моделями розроблення (KMP, Model-Driven Development - MDD) є парадигмою розроблення, яка використовує моделі у якості первинного артефакта процесу розроблення. Зазвичай в MDD реалізація (напів)автоматично генерується з моделей.

Керована моделями архітектура (KMA, Model-Driven Architecture - MDA) є специфічним баченням MDD, яке запропоноване Object Management Group (OMG) і, таким чином, базується на використанні стандартів OMG. Тому MDA може розглядатися як підмножина MDD, де мови моделювання і трансформації стандартизовані OMG.

З іншого боку, MDE може бути супермножиною MDD оскільки, як E в MDE пропонує, MDE іде далі чисто розробницької діяльності і охоплює базовані на моделях задачі повного процесу програмної інженерії (напр., базована на моделях еволюція системи або керована моделями зворотня інженерія успадкованої системи).

Зрештою, використовується термін «базована на моделях інженерія» (або «базоване на моделях роз-

* Ми визнаємо, що методологія – це перевантажений термін, який може мати кілька інтерпретацій. У цьому контексті ми використовуємо цей термін не для позначення формального процесу розроблення, а як набір інструментів та інструкцій, як визначено у тексті вище.

роблення») для позначення м'якшої версії MDE. Тобто, процес MBE – це процес, у якому моделі програмного забезпечення відіграють важливу роль, хоча вони не обов'язково є ключовими артефактами розроблення (тобто вони НЕ «керують» процесом, як у MDE). Прикладом може бути процес розроблення, де на фазі аналізу проектувальники визначають моделі предметної області системи, але потім ці моделі безпосередньо передаються програмістам як креслення для ручного написання коду (без автоматичної генерації коду та явного визначення будь-якої моделі, специфічної для платформи). У цьому процесі моделі все ще відіграють важливу роль, але не є центральними артефактами процесу розроблення та можуть бути менш повними (тобто їх можна використовувати більше як креслення або ескізи системи), ніж ті, що використовуються в підході MDD. MBE – це надмножина MDE. Усі керовані моделями процеси базуються на моделях, але не навпаки.

MDSE надає всебічне бачення розроблення (програмної) системи. На Рис. 9 представлено огляд основних аспектів, що розглядаються в MDSE, та підсумовано спосіб вирішення різних питань. MDSE шукає рішення відповідно до ортогональних вимірів (напрямок): концептуалізація (стовпці на рисунку) та імплементація (рядки на рисунку).

КМПП і її КоКа

Рис. 9 можливо представити з допомогою Концептуального Каркаса, у даному випадку – КоКа КМПП. Але тут ми цього не робимо, щоб не відволікати зайву увагу від рисунка [10; fig. 2.2]. Натомість ми нагадуємо [1; Рис. 2], на якому показані ортогональні реляційний і предметний виміри. Вони відповідають вимірам концептуалізації і імплементації з Рис. 9. Нагадаємо також, що у Концептуальному Каркасі Реляційної картографії [6] ці ж виміри називаються Епістемологічним і Трансформаційним, за якими формуються одніменні відношення. До подальшого

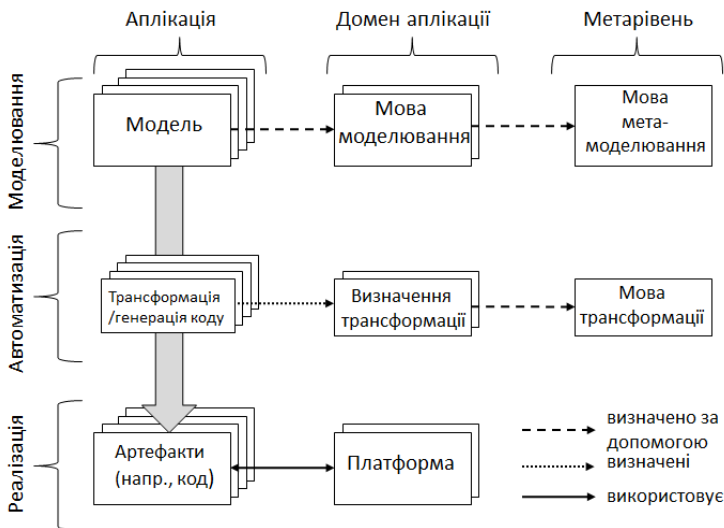


Рис. 9. Огляд методології MDSE [10; fig. 2.2]

опису КМПІ від [10] ми додаємо те, що пов'язане з Концептуальним Каркасом.

Імплементация (трансформація в КоКа) має справу з перетворенням моделей у деякі існуючі чи майбутні працюючі системи. Тому вона складається з визначення трьох основних аспектів. При цьому трансформація в КоКа може здійснюватися на кожній з чотирьох страт: загальній, концептуальній, аплікаційній і операційній.

- Рівень моделювання: де визначаються моделі.
- Рівень реалізації: де рішення імплементуються через артефакти, які фактично використовуються в працюючих системах (це складається з коду у випадку ПЗ).
- Рівень автоматизації: де здійснюються відображення від моделювання до рівнів реалізації.

Концептуалізація орієнтована на визначення концептуальних моделей для опису реальності. Вона може застосовуватися як мінімум на трьох основних рівнях (стратах). Радимо звернути увагу на Рис. 2, де показано, що КоКа представляє моделювання трьох світів: Абстрактного (віртуального), Абстрактно-фізичного (цифрового) і Фізичного.

- Рівень аплікації (Фізичний світ в КоКа): де визначаються моделі аплікацій, виконуються правила трансформації та генеруються фактичні працюючі компоненти.
- Рівень домену аплікації (Абстрактно-фізичний світ в КоКа): де визначено мову моделювання, трансформації та імплементацийні платформи для певного домену.

• **Метарівень** (Абстрактний світ в КоКа): де визначено концептуалізацію моделей та трансформацій.

Основний потік MDSE - від моде-

лей аплікації аж до поточної реалізації, шляхом послідовних трансформацій моделі. Це дозволяє повторно використовувати моделі та експлуатувати системи на різних платформах. Дійсно, на рівні реалізації працююче програмне забезпечення використовує певну платформу, яка визначена для конкретного домену аплікації.

Щоб зробити це можливим, моделі специфікуються відповідно до мови моделювання, яка, у свою чергу, визначається відповідно до мови метамоделювання. Виконання трансформацій визначається на основі набору правил трансформації, визначених за допомогою конкретної мови трансформації.

На Рис. 9 конструювання системи здійснюється згідно процесу згори-вниз із нормативних моделей, що визначають, як обмежується сфера дії та як ціль має бути імплементована. З іншого боку, абстракція використовується знизу-вгору для створення описових (дескриптивних) моделей систем.

КоКа КМПІ і Типовий патерн трансформації моделі

На завершення наведемо приклад використання Концептуального каркаса КМПІ і так званого Типового патерна трансформації моделі [13]. Поява цього підрозділу пояснюється тим, що вище у підрозділі «Оригінальна КМПІ» трансформація моделі названа другим з двох основних понять КМПІ (MDSE). Типовий патерн трансформації моделі показаний на Рис. 10.

Питання трансформації моделей інтенсивно розглядається у літературі з КМПІ. Згадаємо тільки одну, але фундаментальну, роботу [14]. Хоча ми не досліджували «типовість» наведеного патерна Фавра. Маємо ска-

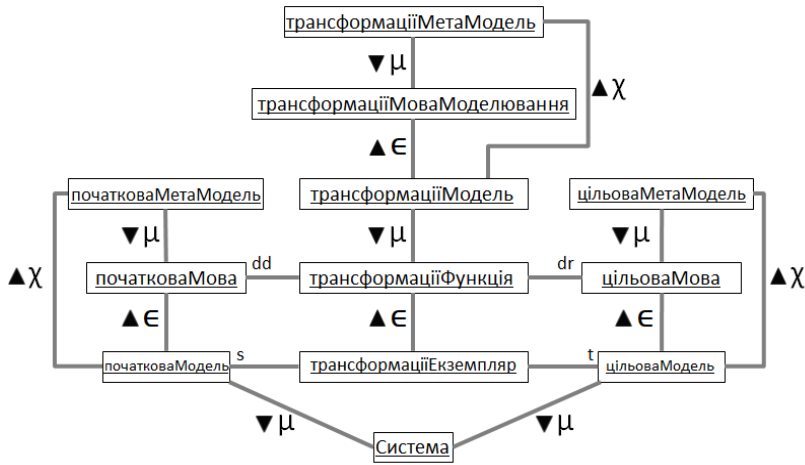


Рис. 10. Типовий патерн трансформації моделі [13; Fig. 8]

зати тільки, що як сама стаття [13], так і її підрозділ «4.2. MDE patterns» виявилися дуже корисними у наших дослідженнях і їх обґрунтуванні. Тут варто згадати [13; Рис. 7], який називався «The "meta-step" pattern and transformation rule». Патерн мета-крок описує одне з фундаментальних відношень, яке називається «конформністю» і суттєво розширює розуміння відношення «інстанціації». Тобто, як мінімум патерн «мета-крок» є типовим.

Справа в тому, що відношення «конформності» застосовується до ієрархії моделей систем, що і було нам потрібно. Відношення «інстанціації» історично застосовувалось до ієрархії об'єктів. Воно, можливо, разом із зворотнім відношенням класифікації, застосовне і до систем. Однак відношення інстанціації «грубіше» за відношення конформності при описі відношень між системами. Для подальшого викладу нам знадобиться зображення ієрархії страт патернів комп'ютерної системи, які ми часто застосовуємо при створенні атласних систем (Рис. 11).

Повний опис застосування патерну трансформації (Рис. 10) міститься у монографії [7]. Для цієї статті зауважимо наступне (на Рис. 12 використані позначення: тр=трансформація, Д=ДатаЛогіка, І=ІнфоЛогіка, В=ЛогікаВикористання, α=Аплікаційна страта, ω=Операційна страта).

На найнижчій, Операційній, страті, показані три моделі, зліва-направо: Модель Даних ωДМодель, Інформаційна Модель ωІМодель, Модель Використання ωВМодель). Вони відповідають патерну MVVM: Модель (Model), Представлення (View), Модель Представлення (ViewModel). Тут використовується аналогія з процесом побудови карти, згідно з яким з даних, отриманих на першому кроці, на другому кроці займаються оформленням представлення даних (зображення), яке зводиться до задання масштабу, пояснення використаних на зображенні позначень тощо. На третьому кроці карта надається користувачу з виконанням потрібних для цього операцій.

Запис ЕлНАУ2000в μв ЕлНАУ2007в означає, що пілотна версія

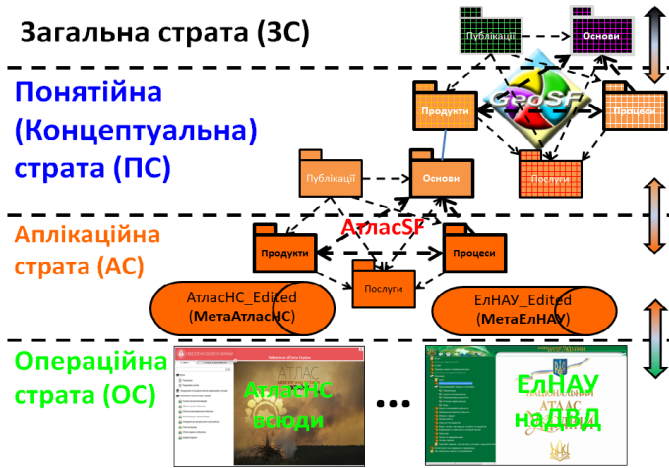


Рис. 11. Представлення страт КоКа і відповідних КаРі GeoSF і AtlasSF

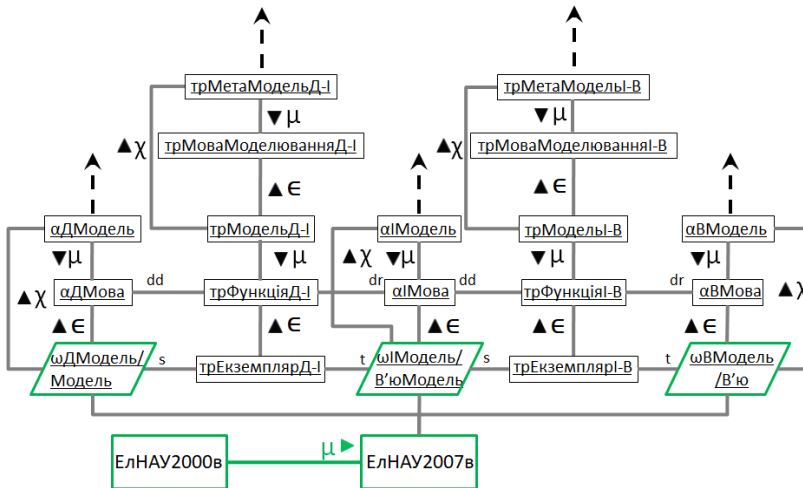


Рис. 12. Типовий патерн трансформації моделі у проєкті ЕлНАУ

ЕлНАУ, яка називалася Атлас України 2000 (ЕлНАУ2000 у вузькому розумінні - ЕлНАУ2000в), використана для моделювання першої версії ЕлНАУ – ЕлНАУ2007в. ЕлНАУ2007в випущена тиражем 5000 тис. екземплярів у 2007 р. Літера «в» використана, щоб відділити ЕлНАУ у вузькому розумінні (ЕлНАУв) від ЕлНАУ у розширеному розумінні (ЕлНАУш).

Висновки

У роботі доведена відповідність «нейтральної» методології розроблення програмного забезпечення (ПЗ) і методів майбутньої методології Каркасного підходу. Для цього метод Концептуальних Каркасів використано для підкласа ПрІС - програмних систем, до яких «входить» ПЗ. Ме-

тодологія буде відповідати так званій Керованій Моделями Програмній Інженерії (КМПИ), а Концептуальний Каркас є першим з двох системних методів Каркасного підходу.

Список використаної літератури

1. Дишлик О., Чабанюк В. Каркасний підхід як стратегія дослідження проектування складних просторових інформаційних систем (на прикладі НІГД). *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2025. № 1. С. 104-130. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2025.01.09>.
2. Шинкарук В.І. (гол. редкол.) та ін. Філософський енциклопедичний словник. / Інститут філософії імені Григорія Сковороди НАН України. Київ: Абрис, 2002. 742 с. ISBN 966-531-128-X.
3. Дишлик О., Чабанюк В. Стандартизація методології MSF Agile з допомогою стандарта ISO/IEC 24744. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2026. № 2. Підготовлено до друку.
4. Дишлик О., Чабанюк В. Застосування методик Каркасного підходу при створенні просторових інформаційних систем з використанням сучасних технологій Microsoft. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. *Збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК*, Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2026, I (51). У друці.
5. Чабанюк В., Дишлик О. Формалізація Концептуального Каркаса Просторових Систем. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2024. № 3. С. 64-88. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2024.03.06>. (Ukrainian, English)
6. Чабанюк В. Каркас Атласних Рішень AtlasSF як підхід, метод і засіб створення Атласних і Геоінформаційних Систем. *Географічна наука та освіта: перспективи й інновації* : зб. матеріалів IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Переяслав, 19-20 вер. 2024 р.). Переяслав (Київ. обл.), 2024. С. 197.
7. Чабанюк Віктор Савович. Реляційна картографія: Теорія та практика: монографія. Київ: Інститут географії НАН України, 2018. 525. ISBN 978-966-02-8701-3.
8. Чабанюк В., Дишлик О., Поливач К., Піоро В., Колімасов І., Нечипоренко Ю. Головні концептуальні положення створення електронного державного реєстру нерухомої культурної спадщини України. Частина 1 і 2. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2022. № 2. С. 133-154. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2022.02.11>. № 3. С. 114-136. DOI: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2022.03.11>.
9. Holt Jon. Systems Engineering Demystified: Apply modern, model-based systems engineering techniques to build complex systems. Packt Publishing, 2023. 2nd Ed. P. 504 (533).
10. Brambilla Marco, Cabot Jordi, Wimmer Manuel. Model-driven Software Engineering in Practice (Synthesis Lectures on Software Engineering. Morgan & Claypool Publishers, 1st Ed., 2012.- 166 (184) p.; 2nd Ed., 2017.- 209 p. (191 (207) p.). DOI:10.2200/S00441ED1V01Y-201208SWE001.
11. Martin James N. Systems Engineering Guidebook. CRC Press, 1996. 281 (309) p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780138737443>.
12. Ackerman Lee, Gonzalez Celso. Patterns-Based Engineering: Successfully Delivering Solutions via Patterns. Addison-Wesley, 2011. P. 444 (473). ISBN-10: 0-321-57428-1; ISBN-13: 978-0-321-57428-2.
13. Favre Jean-Marie. Towards a Basic Theory to Model Model Driven Engineering. Proc. of the 3rd UML Workshop in Software Model Engineering (WiSME), 2004. P. 8.s.
14. Lano K., Kolahdouz-Rahimi S. Model-Transformation Design Patterns. IEEE Transactions on Software Engineering,

2014. Volume 40. Issue 12. 1224-1259 (38 p.). DOI:10.1109/TSE.2014.2354344.

References

1. Dyshlyk, O., & Chabaniuk, V. (2025). Karakasnyi pidkhid yak stratehiia doslidzhenia proektuvannia skladnykh prostorovykh informatsiinykh system (na prykladi NIHD) [Framework approach as a research strategy for the design of complex spatial information systems (using the example of NIGD)]. *Land Management, Cadastre and Land Monitoring*, (1), 104–130. <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2025.01.09>
2. Shynkaruk, V. I. (Ed.). (2002). *Filosofskiy entsyklopedychniy slovnyk* [Philosophical encyclopedic dictionary]. Abrys.
3. Dyshlyk, O., & Chabaniuk, V. (2026). Standartyzatsiia metodolohii MSF Agile z dopomohoiu standarta ISO/IEC 24744 [Standardization of the MSF Agile methodology using ISO/IEC 24744]. *Land Management, Cadastre and Land Monitoring*, (1). (in press)
4. Dyshlyk, O., & Chabaniuk, V. (2026). Zastosuvannia metodyk karkasnoho pidkhodu pry stvorenni prostorovykh informatsiinykh system z vykorystanniam suchasnykh tekhnolohii Microsoft [Application of framework approach methods in creating spatial information systems using modern Microsoft technologies]. *Modern Achievements in Geodetic Science and Production*, 1(51). (in press)
5. Chabaniuk, V., & Dyshlyk, O. (2024). Formalizatsiia kontseptualnoho karkasa prostorovykh system [Formalization of the conceptual framework of spatial systems]. *Land Management, Cadastre and Land Monitoring*, (3), 64–88. <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2024.03.06>
6. Chabaniuk, V. (2024). Karkas atlasnykh rishen AtlasSF yak pidkhid, metod i zasib stvorennya atlasnykh i heoinformatsiinykh system [AtlasSF framework of atlas solutions as an approach, method and means of creating atlas and geoinformation systems]. In *Heohrafichna nauka ta osvita: perspektyvy y innovatsii* (Proceedings of the IV International Scientific-Practical Conference, pp. 197).
7. Chabaniuk, V. (2018). *Relatsiina kartohrafiia: Teoriia ta praktyka* [Relational cartography: Theory and practice]. Instytut heohrafii NAN Ukrainy.
8. Chabaniuk, V., Dyshlyk, O., Polyvach, K., Pi-oro, V., Kolimasov, I., & Nechyporenko, Yu. (2022). Holovni kontseptualni polozhennia stvorennya elektronnoho derzhavnoho reiestru nerukhomoi kulturnoi spadshchyny Ukrainy. Chastyna 1 [Main conceptual provisions for creating an electronic state register of immovable cultural heritage of Ukraine. Part 1]. *Land Management, Cadastre and Land Monitoring*, (2), 133–154; (3), 114–136. <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2022.02.11>; <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2022.03.11>
9. Holt, J. (2023). *Systems engineering demystified: Apply modern, model-based systems engineering techniques to build complex systems* (2nd ed.). Packt Publishing.
10. Brambilla, M., Cabot, J., & Wimmer, M. (2017). *Model-driven software engineering in practice* (2nd ed.). Morgan & Claypool Publishers. <https://doi.org/10.2200/S00441ED1V01Y201208SWE001>
11. Martin, J. N. (1996). *Systems engineering guidebook*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780138737443>
12. Ackerman, L., & Gonzalez, C. (2011). *Patterns-based engineering: Successfully delivering solutions via patterns*. Addison-Wesley.
13. Favre, J.-M. (2004). Towards a basic theory to model model driven engineering. In *Proceedings of the 3rd UML Workshop in Software Model Engineering*.
14. Lano, K., & Kolahdouz-Rahimi, S. (2014). Model-transformation design patterns. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 40(12), 1224–1259. <https://doi.org/10.1109/TSE.2014.2354344>

Dyshlyk O., Chabaniuk V.

MODEL-BASED SOFTWARE ENGINEERING METHODOLOGY IN THE FRAMEWORK APPROACH

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 1'26: 136-152.

<http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.01.09>

Abstract. The research of the "Framework Approach to Handling with (Hierarchical) Spatial Information Systems (SpIS)", hereinafter referred to as the Framework Approach, was continued. Prior to this, the entities of the Framework Approach, which relate to the upper echelons of its epistemological hierarchy, were considered. Namely, to (the title of the article corresponding echelon is given in quotes "..."): 1) the first echelon – "Framework Approach as a Strategy for Research and Design of Complex SpIS (on the Example of NGDI)"; 2) again the first echelon – "Microsoft Solutions Framework (MSF) as a Generalized Methodology of the Framework Approach for Handling SpIS"; 3) the second echelon – "Standardization of the MSF Agile Methodology using ISO/IEC 24744 standard"; 4) the third echelon – "On the Methodics of the Framework Approach to Creating SpIS Using Modern Microsoft Technologies". Echelons unite groups of users of a modeling system. They correspond to strata of the same system.

Three of the four mentioned articles use significantly the special knowledge about MSF and about modern information technologies (IT) of Microsoft. To reduce dependence on this knowledge, in this article we used "neutral" knowledge about software development methodologies. For this purpose, the so-called Model-Based Software Engineering (MBSE) is considered through the "framework prism". The latter is Model-Based System Engineering (MBSysE) and, more generally, Model-Based Engineering (MBE). Their understanding is necessary to create our own methodology, which is called the Pattern-Based Spatial Engineering (PBSpE) methodology. PBSpE will include the methodics of extending the SpIS, which were mentioned in our works earlier. Moreover, these methodics have already been used by us in practice, sometimes without association with any methodology. It should be noted that our SpIS extension methodics are applied to constructions that are already structured as a result of using the so-called Atlas Solution Framework AtlasSF.

Keywords: Model-Based Software Engineering (MBSE) methodology, MBSE Conceptual Framework, SpIS extension methodics