

РАМКОВА МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО КОМПОЗИТНОГО СЕРВІСУ В СЕМАНТИЧНОМУ ВЕБ-СЕРЕДОВИЩІ

Обґрунтовано новий підхід до on-line композиції семантичного Веб-сервісу, який є адаптивним – здатним до змін поведінки для задоволення нових вимог і пристосування до нових (не)передбачених ситуацій – і застосовним третіми сторонами, для довільного методу компоновання. Надано рамкову модель цього адаптивного композитного сервісу (АКС) як динамічної лінії змінюваних семантичних сервісів для споживачів у цільовій предметній області. Сформульовано засади побудови АКС за рахунок керування динамічною варіабельністю цієї лінії. Розроблено діагностичну модель варіабельності АКС для виявлення потреб і стратегій його on-line адаптування. Формалізовано операції реалізації стратегій – (не)передбаченого змінення складу атомарних компонентних сервісів, структури й функцій їх проміжних композицій, функцій самого АКС – за рахунок наданого ізоморфізму між моделями його функцій і композитних сервісів. Запровадження підходу сприяє підвищенню ефективності застосування й реінжинірингу ділових процесів з різнорідними та змінними контекстами.

Ключові слова: адаптивний композитний сервіс; семантичний Веб-сервіс, динамічна лінія програмних продуктів, динамічна варіабельність, метод композиції семантичних Веб-сервісів, пошук сервісів, операція адаптування, ізоморфізм, сервіс-орієнтована програмна система.

Постановка проблеми

За умов стрімкого розвитку програмної індустрії у світі та Україні, де факто стандартом автоматизованої підтримки ділових процесів сучасних організацій стає композиція виконуваних Веб-сервісів, on-line відшуканих в Інтернет. Саме такі сервіс-орієнтовані програмні системи (СоПС), звані *композитними Веб-сервісами*, здатні уможливити декларовані переваги сервісного програмування [1] – скорочення вартості й терміну розробки та контрольованість якості й окупності в життєвому циклі. Ці СоПС найбільш запитані в динамічних предметних областях (Про), де параметри інфраструктури доступу до сервісів з їх складу та ролі, взаємодії, потреби й пріоритети зацікавлених сторін різнорідні, змінні й слабо передбачувані під час проектування, оскільки саме тут їх зазначені переваги особливо відчутні.

Але дійсне досягнення згаданих переваг композитних Веб-сервісів неможливе без додаткового забезпечення для них:

1) здатності до змін поведінки під час виконання для задоволення нових вимог і пристосування до нових ситуацій (як передбачених за проектування, так і непе-

редбачених), званої *адаптовністю* [2, 3] та, відповідно, *адаптивністю* [2, 4];

2) ефективного багаторазового on-line відшукування виконуваних сервісів-складників та їх композиції (званої *динамічною*) на підтримку поточних потреб споживачів;

3) постійної застосовності третіми сторонами цільової Про на підставі описів у реєстрах Інтернет (UDDI тощо).

Однак аналіз актуального доробку інженерії СоПС висвітлює істотне розмежування підходів до конструювання СоПС з властивостями 1)–3). Зокрема, огляд [5] висвітлює значну різнорідність формалізмів моделювання *адаптивних* СоПС. Показовими прикладами є:

– подання СоПС динамічною лінією проміжних композитних сервісів на підтримку потреб окремих груп споживачів [3, 4] (A_1);

– побудова СоПС на засадах повно-аспектного керування її спеціально визначеною варіабельністю [6] (A_2);

– формальне подання процесу побудови СоПС як вирішення проблеми автоматичного планування через перевірку моделей шляхом формалізації фраг-

ментів підтримуваних ділових процесів [7, 8] (A_3);

– проектування СоПС як віртуальної адаптивної організації сервісів [9] (A_4).

Альтернативою A_1 – A_4 є каркас моніторингу й адаптування СоПС під час її проектування й виконання (A_5 , проект S-Cube¹). Він забезпечує проактивні узгоджені змінення всіх структурних рівнів СоПС – від підтримуваних ділових процесів і потреб її споживачів до операційних систем [1]. Для цього в каркасі передбачено шаблони подій бажаної/небажаної поведінки СоПС і відповідні їм правила добору дій з адаптації, обновлювані згідно з досвідом виконання [2, 5, 10]).

На жаль, підходи A_1 , A_4 , A_5 передбачають побудову СоПС “для компонувача”, а A_2 , A_3 – “для компонувача й підписувача”, не забезпечуючи властивість 3).

У свою чергу, відшукування й компонування сервісів зазвичай трактують як автономні й розмежовані одноразові дії. Винятком є методи для *семантичних* сервісів, зокрема семантичне зіставлення:

– входів і виходів сервісів (P. Rodríguez-Mier [11], C_1);

– входів, виходів, перед- і постумов (S. Bansal [12], C_2).

Співставлення підходів A_1 – A_5 , не зорієнтованих на семантику Веб-сервісів, і C_1 , C_2 , що ігнорують вимоги адаптивності, висвітлює нагальну потребу протирічної інтеграції переваг A_1 – A_5 і C_1 , C_2 у *новому підході* до динамічної композиції семантичних Веб-сервісів, результат якої має властивості 1)–3) і тому названий *адаптивним композитним семантичним Веб-сервісом* (АКС). Опис базових рішень такого підходу і побудова рамкової моделі АКС є метою статті.

Стаття підсумовує доробок автора в проекті ДР 0112U002764 ІПС НАН Ук-

раїни під керівництвом академіка НАН України, д-ра фіз.-мат. наук П.І. Андона (2013–2016).

Установчі рішення з побудови АКС

Пропонований підхід узагальнює модель процесу адаптивного компонування Веб-сервісів різнорідними споживачами [13] та формальні засоби забезпечення адаптовності програмних продуктів [14] для семантичних Веб-сервісів згідно з рамковим каркасом адаптування СоПС [10].

Підхід охоплює:

а) формування вимог до АКС і його побудови для реалізації властивостей 1)–3);

б) визначення рамкових моделей згідно з вимогами – самого АКС, процесу його побудови (з первинним проектуванням і подальшим поетапним виконанням/адаптуванням до змін потреб споживачів, умов виконання і/або відмов компонентних сервісів), окремого етапу побудови та операцій адаптування АКС на підставі його запропонованої моделі;

в) уточнення рамкових моделей для ефективних методів динамічної композиції, насамперед C_1 , C_2 ;

г) розвиток наданих моделей і методів на підтримку адаптації АКС до проявів незадовільної якості (у цілому або його складників).

Запропоновані вимоги охоплюють:

– уніфікацію засобів забезпечення адаптовності та динамічної контекстно-залежної адаптивності (B_1);

– узгодження дій з адаптації на п’яти де-факто стандартних рівнях АКС [1] (потреб споживачів, ділових процесів, атомарних і композитних сервісів, їх реалізацій за допомогою певних методологій і мов програмування, операційних систем) (B_2);

– урахування залежностей між подіями – підставами адаптації АКС (B_3);

¹Офіційний сайт: <http://www.s-cube-network.eu/>

- урахування неповноти й обмеженої вірогідності даних про стан АКС і контекст її виконання (B_4);

- інваріантність формального апарату до методу динамічного компонування семантичних Веб-сервісів (B_5).

На підставі зіставлення вимог B_1 – B_5 з рамковим життєвим циклом композитного Веб-сервісу [15], каркасом A_5

[10] і підходами A_1 , A_2 й C_1 , C_2 зафіксовано базові об'єкти процесу побудови АКС і типові проблеми їх застосування в семантичному Веб-середовищі (Π_1 – Π_4). Склад і співвідношення об'єктів і проблем показано на рис. 1 (об'єкти позначено потовщеним контуром, а проблеми – “прапорцями”).

Рішення з опрацювання проблем Π_1 – Π_4 підсумовано в таблиці.

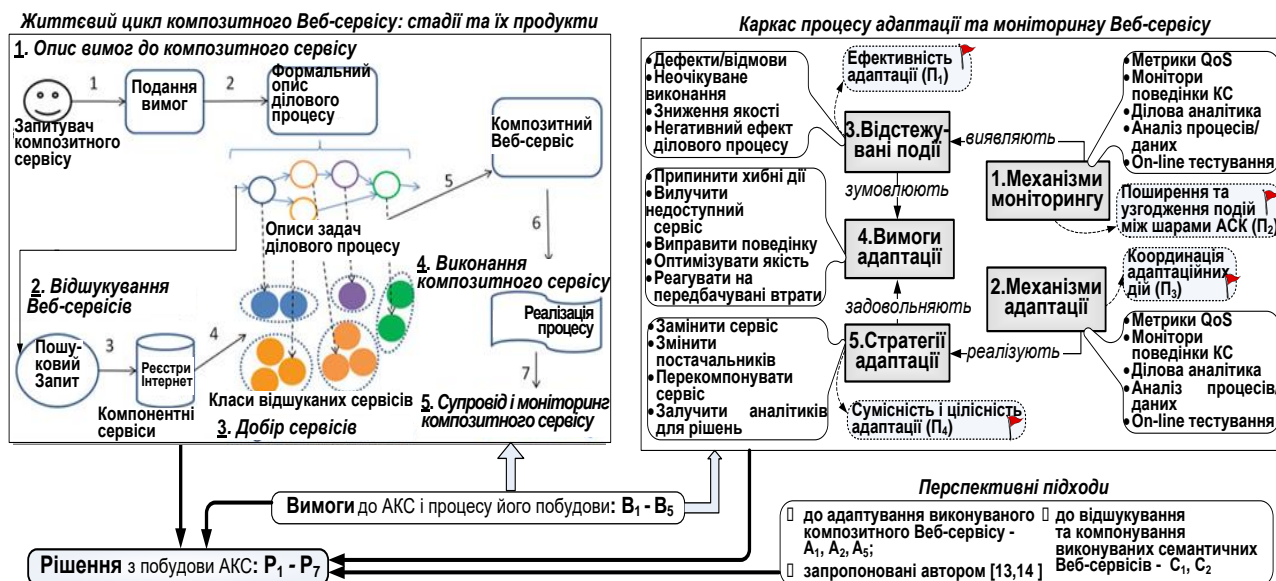


Рис. 1. Підстави та об'єкти рішень з побудови АКС

Сутність пропонованого підходу до побудови АКС

Таблиця

Пропоноване рішення		Опрацьована	
Код	Сутність	Вимога	Проблема
1	2	3	4
P_1	Конструювання АКС у форматі <i>динамічної лінії</i> програмних продуктів [16]. Розгляд продукту як композитного семантичного сервісу на підтримку певного вділового процесу в цільовій Про	B_1 – B_3	Π_3, Π_4
P_2	Конструювання АКС за допомогою <i>трансформаційного</i> підходу [17] на підставі її взаємопов'язаних моделей у просторах [17,18]: <i>проблеми</i> (незалежно від формалізмів опису семантики компонентних Веб-сервісів і методу їх динамічного компонування) та <i>рішень</i> (у залежності від цього методу).	B_1, B_2, B_5	Π_2
P_3	Подання АКС у просторі проблеми за допомогою розвитку <i>моделі властивостей</i> під час виконання [16] відповідно до особливостей варіабельності Веб-сервісів [6] і вищезазначеної п'ятирівневої структури АКС як СоПС [1].	B_2	Π_2

1	2	3	4
P ₄	Розгляд процесу конструювання АКС як процесу управління <i>динамічною варіабельністю</i> [6,16] лінії композитних сервісів. Подання цього процесу композицією спеціальних функцій управління варіабельністю в єдиному інформаційному середовищі, структурованому на підставі моделі властивостей під час виконання.	V ₁ , V ₅	П ₁ –П ₄
P ₅	Заміна шаблонів подій – підстав адаптації [5] рамковими подіями потенційної й фактичної незадовільності очікуваної або поточної варіабельності АКС. Діагностування типу неадекватності й рекомендування адаптаційних дій за допомогою діагностичної підмоделі варіабельності композитних Веб-сервісів.	V ₃ , V ₄	П ₃ , П ₄

Згідно з традиційним визначенням Інституту програмної інженерії², лінія програмних продуктів у певній ПрО – це їх відкритий набір, елементи якого мають керовану множину спільних *властивостей* на підтримку потреб споживачів у ПрО і розробляються попередньо визначеним способом зі спільної множини *ресурсів повторного використання* [17, 18]. Властивість – потреба, функція, нефункціональна характеристика, запитана споживачами.

ISO/IEC 26550 [18] фіксує особливості процесу розроблення лінії продуктів:

- простори Проблеми та Рішень, утворені передбаченими для ПрО спільними (commonalities) і змінними (variabilities) властивостями продуктів і, відповідно, ресурсами з правилами їх компонування упродукти для реалізації властивостей;

- процеси конструювання *домену* (де розробляють ресурси) і *застосунків* (де їх компонують у продукти із спільними й передбаченими змінними властивостями);

- процес керування варіабельністю – здатністю продуктів лінії до ефективного розвитку, зміни, налаштування або конфігурування для використання в певному контексті [17, 18];

- формалізм *моделі властивостей* (feature model, MB) [17, 19] – їх дерева з додатковими відношеннями взаємозале-

жності [13], яка є де-факто стандартом опису простору проблеми.

Динамічна лінія продуктів [16] надає розвиток статичної за рахунок змінності за часом складу й структури просторів проблеми й рішень згідно зі змінами потреб споживачів та умов виконання продуктів. Відповідно, MB стає змінною за часом, а варіабельність під час виконання замінює канонічну варіабельність.

Отже, далі АКС модельовано як поповнювану систему (змінюваних) композитних семантичних Веб-сервісів на підтримку потреб різнорідних суб'єктів змінних ділових процесів у цільовій ПрО. Ці сервіси названо *цільовими сервісами* в АКС (ЦС). Кожний ЦС має спільні й змінні функції згідно з поточними потребами споживачів, умовами виконання і станом АКС, передбачені на період до зміни потреб і/або умов. У разі такої зміни склад і взаємозв'язки функцій окремих ЦС і/або АКС у цілому та ЦС для них мають змінюватися узгоджено за допомогою операцій адаптування для дотримання відповідності між ними.

Рамкова модель АКС: структура та застосування для його адаптації

Базові визначення. Прийнятий розгляд АКС як динамічної лінії ЦС зумовлює два узгоджені складники його рамкової моделі. Першим є інтенсіональне подання АКС (моделі просторів проблеми й рішень), а другим – його екстенсіональне

² <http://www.sei.cmu.edu/productlines/>

подання (поточний репозиторій опублікованих ЦС).

Формальний опис інтенціонального подання потребує низки допоміжних визначень.

Визначення 1 [13]. Нехай t_0 – момент початку виконання АКС, $[t_{u-1}, t_u)$, $u \in \mathbf{N}$ – u -й період, в якому склад функцій АКС і залежності між ними відповідають поточним потребам суб'єктів ділових процесів цільової ПрО, F_u – множина однозначних описів функцій АКС (для стислості званих далі просто функціями) в u -му періоді.

Будемо говорити, що функції $f_i, f_j \in F_u$ пов'язано відношенням:

а) *обумовленості* (IM_F), *зіставлення* (EQ_F) або *виключення* (EX_F), якщо з реалізації в довільному ЦС з АКС функції f_i випливає реалізація в ньому й f_j, f_i, f_j можна реалізувати в ЦС лише разом або, відповідно, реалізувати їх разом неможливо;

б) (m, n) -*варіантного підпорядкування* (C_F^{mn} , $0 \leq m \leq n \leq (|F_u| - 1)$), якщо функцію f_i (звану далі *підпорядковуючою*, або *батьком*) реалізовано в ЦС з АКС тоді й тільки тоді, коли в ньому реалізовано довільну підмножину функцій SV ($\emptyset \subseteq SV \subseteq VF \subset F_u$, $m \leq |SV| \leq n$, $f_j \in SV$), яка в разі $m > 0$ містить f_j (звану, відповідно, *підпорядкованою*, або *нащадком*) і має своїми елементами від m до n функцій $f_j^* \in VF$.

У разі $m = n = |VF|$ відношення C_F^{mn} зветься *обов'язковим підпорядкуванням*, а кожна підпорядкована функція $f_j \in VF$ – *обов'язковою* для реалізації підпорядковуючої функції. Отже, обов'язкові функції спільні для всіх ЦС в АКС. Функції, що не є обов'язковими, зуть *змінними*.

Визначення 2. Модель функцій АКС в u -му періоді їх відповідності потребам споживачів цільової ПрО – це п'ятірка

$$FM_u = \langle F_u; IM_F, EQ_F, EX_F, C_F^{mn} \rangle. \quad (1)$$

Далі будемо вважати АКС коректним впродовж його виконання в сенсі

Визначення 3. АКС є *коректним* в u -му періоді відповідності його функцій потребам споживачів цільової ПрО, якщо одночасно виконано такі умови:

а) поточний метод динамічного компонування семантичних Веб-сервісів (κ_u) має природну властивість [11, 12]: якщо кожна з композицій методом κ_u (названих κ_u -*композиціями*) Веб-сервісів з двох різних множин реалізує певну функцію, то її реалізує й κ_u -композиція елементів об'єднання цих множин;

б) множина F_u містить універсальну функцію $f_0 =$ “Задоволення потреб суб'єктів ділових процесів цільової ПрО”, а граф

$$\langle F_u; E_F^{mn}, 0 \leq m \leq n \leq (|F_t| - 1) \rangle, \quad (2)$$

$$E_F^{mn} = \{(f, g) \in F_u \mid C_F^{mn}(f, g)\}$$

є *деревом* з коренем f_0 , де листки ($lf \in LF_u$) відповідають певним елементарним завданням підтримуваних ділових процесів і зуться далі *термінальними*, а вузли ($f \neq f_0, f \notin LF_u$) – *проміжними* функціями АКС;

в) функції, разом безпосередньо підпорядковані спільному батьку в дереві (2), не пов'язано відношеннями IM_F, EX_F ;

г) кожній термінальній функції lf зіставлено такий опис, згідно з методом κ_u , ЦС її реалізації ($ld(lf; \kappa_u)$), для якого послідовно відшукано m_u множин, названих lf -*релевантними*, семантичних Веб-сервісів з описами ($wd_{qs}(\kappa_u)$) того ж типу, що й $ld(lf; \kappa_u)$, без доступу до внутрішньої структури, on-line доступних в q -му підперіоді зазначеного u -го періоду, κ_u -композиція яких згідно з описом ld реалізує lf :

$$AW_q(ld(lf)) = \{wd_{qs}(\kappa_u), s \geq 1\} \supset \emptyset, \quad (3)$$

$$q=1, \dots, m_u, m_u > 0;$$

д) $\forall (i,j)$ lf_i - й lf_j -релевантні множини не є підмножинами одна одної.

Дотриманню умов коректності а)–д) сприяють стандартизовані кращі практики побудови МВ [17, 18] і новітня техніка Аналізу впливів (Г. Аджік) [13] для визначення вершин першого рівня в дереві (2), а також значні обсяги on-line доступних семантичних Веб-сервісів з широким спектром функцій і привабливою якістю, оскільки κ_u -компонування їх lf -релевантних підмножин зазвичай значно ефективніше для реалізації lf , ніж традиційне розроблення lf -релевантних сервісів.

Зауваження 1. Виконання умов г), д) з визначення 3 є критерієм завершення декомпозиції функцій АКС, тобто надання поточним вершинам дерева (3) статусу термінальних функцій.

Згідно з трансформаційним підходом до побудови АКС (рішення P_2 , таблиця) запровадимо відображення для формального зіставлення функціям коректного АКС (елементам простору проблеми) ЦС їх реалізації (елементів простору рішень).

Зауваження 2. Нехай $f \notin LF$ – не-термінальна функція АКС. Тоді множина термінальних функцій, опосередковано варіантно підпорядкованих f у моделі функцій АКС (1), має вигляд:

$$IC(f) = M(f) \cup (\cup_{v \geq 0} O_v(f)) \subseteq LF, \quad (4)$$

$$\emptyset \subseteq M(f), \emptyset \subseteq O_v(f), \cap_v O_v(f) = \emptyset,$$

$$|IC(f)| \geq 2,$$

де $M(f)$ – обов’язкові функції;

$O_v(f)$ – v -а множина змінних функцій, які реалізуються або не реалізуються в АКС лише разом.

Згідно з (4), функцію f реалізовано в ЦС з АКС тоді й лише тоді, коли в ЦС

реалізовано одну з множин термінальних функцій $M(f) \cup O_v(f)$.

Визначення 4. Нехай d – деякий опис семантичного Веб-сервісу згідно з методом κ_u , $pr(d)$ – предикат на множині κ_u -композицій із змістом: “ κ_u -композиція відповідає опису d ”. *Перетворенням* функцій коректного АКС в u -му періоді відповідності його функцій потребам споживачів цільової ПрО назвемо відображення $\tau(\kappa_u, \cdot): F_u \rightarrow S_u$:

$$\forall lf \in LF_u \mid \exists (ld(lf), q > 0, AW_q(ld)) \mid$$

$$\tau(\kappa_u, lf) = lw(lf) = (ld; \kappa_u(ld, AW_q(ld))); \quad (5)$$

$$\forall f \notin LF_u \tau(\kappa_u, f) = \{ (fd; \kappa_u(fd, \{ \tau(\kappa_u, lf) \},$$

$$lf \in M(f) \cup O_v(f) \}), v \geq 0 \},$$

де $S_u = \{ \tau(\kappa_u, f), f \in F_u \}$ – множина моделей ЦС (5), (6), передбачених в АКС для реалізації його функцій у зазначеному u -му періоді (в довільний момент t u -го періоду $t_{(q-1)u} \leq t < t_{qu}$, $t_{0u} = t_{u-1}$, $t_{mu} = t_u$ множина S_u формується із застосуванням q -ї lf -релевантної множини $AW_q(ld)$);

fd – такий опис семантичного Веб-сервісу згідно з методом κ_u , що

$$pr(fd) \Leftrightarrow \wedge_{lf \in M(f) \cup O_v(f)} pr(ld(lf));$$

$M(f)$ і $O_v(f)$ – множини обов’язкових і змінних термінальних функцій, підпорядкованих f у сенсі зауваження 2.

Образ функції $f \in F_u$ $w(f) = \tau(\kappa_u, f)$ назвемо *моделлю f -релевантного композитного ЦС*, відповідно *термінального* (5), якщо $f \in LF_u$; *проміжного*, якщо $f \notin LF_u$, $f \neq f_0$ і *кореневого*, якщо $f = f_0$ (6).

Зауваження 3. З умови д) коректності АКС випливає, що будь-які два предикати $pr(ld(lf_i))$ і $pr(ld(lf_j))$ не пов’язано відношенням імплікації.

Зауваження 4. З виразу (6) і умов коректності АКС випливає, що перетворення $\tau(\kappa_u, \cdot)$ є ізоморфізмом між множинами функцій і ЦС АКС.

Зауваження 5. Вигляд описів ЦС ld і fd , перетворення $\tau(\kappa_u, \cdot)$ і відповідної їм композиції (5), (6) визначено поточним методом κ_u . Для методу [11] ці вирази та приклади ярусно-паралельних графів *нормалізованої* композиції наведено в [20].

На підставі визначення 1 індукуємо на множині ЦС S_u відношення $IM_S, EQ_S, EX_S, C_S^{mn}$, однойменні з відношеннями на множині функцій F_u , так, щоб $\forall u > 0$ перетворення (5), (6) було ізоморфізмом між моделлю функцій АКС FM_u (1) і моделлю ЦС їх реалізації

$$SM_u = \langle S_u; IM_S, EQ_S, EX_S, C_S^{mn} \rangle \quad (7)$$

як алгебраїчними моделями типу $\langle 2, 2, 2, 2, 2 \rangle$.

Визначення 5 [13]. Відношення *обумовленості* (IM_S), *зіставлення* (EQ_S), *виключення* (EX_S) і *(m,n)-варіантного підпорядкування* (C_S^{mn} , $0 \leq m \leq n \leq (|C_u| - 1)$) пов'язують ЦС в АКС тоді й тільки тоді, коли однойменні відношення пов'язують, у сенсі визначення 1, прообрази цих ЦС за перетворенням $\tau(\kappa_u, \cdot)$: $\forall (w_i, w_j \in S_u)$

$$IM_S(w_i, w_j) \Leftrightarrow IM_F(\tau_i^{-1}(w_i), \tau_i^{-1}(w_j)); \quad (8)$$

$$EQ_S(w_i, w_j) \Leftrightarrow EQ_F(\tau_i^{-1}(w_i), \tau_i^{-1}(w_j));$$

$$EX_S(w_i, w_j) \Leftrightarrow EX_F(\tau_i^{-1}(w_i), \tau_i^{-1}(w_j));$$

$$C_S^{mn}(w_i, w_j) \Leftrightarrow C_F^{mn}(\tau_i^{-1}(w_i), \tau_i^{-1}(w_j)).$$

Зауваження 5. У моделі ЦС SM_u (7) граф ЦС

$$\langle S_u; E_S^{mn} \rangle, \quad 0 \leq m \leq n \leq (|S_u| - 1), \quad (9)$$

$$E_S^{mn} = \{ (w_i, w_j) \in S_u \mid C_S^{mn}(w_i, w_j) \}$$

є *деревом*, ізоморфним дереву функцій $\langle F_u; E_F^{mn} \rangle$ (2) за перетворенням $\tau(\kappa_u, \cdot)$.

Тому множина моделей ЦС АКС має вигляд

$$S_u = LS_u \cup (\cup_{k=2, \dots, n} IS_{ku}) \cup \{w_0\}, \quad (10)$$

де $LS_u = IS_{1u}$ – множина термінальних композитних ЦС (5), які є листками дерева (9);

IS_{ku} – множина проміжних композитних ЦС (6), які є вузлами k -го рівня підпорядкованості в (9) за відношенням C_S^{mn} ;

$w_0 = \tau(\kappa_u, f_0)$ – універсальний (змінний) композитний ЦС реалізації універсальної функції f_0 (тобто всіх функцій АКС), що є коренем дерева (9).

Отже, множина ЦС (5), (6), (10) являє собою *модель* пошарованого *репозиторію* АКС у сенсі [17, 18]. У свою чергу, множина

$$AP_u = \cup_{lf \in LF_u} AW_q(ld(lf)), \quad (11)$$

$$t_{(q-1)u} \leq t < t_{qu}, \quad t_{0u} = t_{u-1}, \quad t_{muu} = t_u$$

є *платформою* АКС у сенсі [17, 18]: усі її елементи розглядаються як атомарні, подані своїми описами ($wd_{qs}(\kappa_u)$) згідно з методом κ_u , а довільний сервіс $w \in S_u \in$ їх κ_u -композицією – безпосередньою (5) або дворівневою (6).

Зауваження 6. За виразами для моделі функцій FM_u (1), моделі ЦС SM_u (7), (8) і платформи AP_u (11), змінення АКС для опрацювання його неадекватності потребам споживачів і/або умовам використання, названі *адаптаційними*, стосуються узгоджених між собою:

- складу і/або структури функцій;
- ЦС їх реалізації;
- елементів платформи АКС.

Для діагностування подій – підстав адаптаційних змінень, надання рекомендацій щодо них і відстеження їх впливів на п'яти зазначених рівнях АКС запровадимо.

Визначення 6. *Інтегрована модель варіабельності* АКС у v -му періоді між його адаптаційними зміненнями – це *трійка*

$$VM_v = \langle SV_v, AV_v, DV_v \rangle, \quad (12)$$

де SV_v і AV_v – моделі варіабельності структури АКС та його артефактів;

DV_v – діагностична модель рівня задовільності варіабельності.

Внутрішню структуру SV_v , AV_v , DV_v описано далі визначеннями 9–11.

Поєднання виразів (1), (7), (8) і (12) уможливило формальний опис інтенціонального подання АКС за допомогою.

Визначення 7. Інтенціональне подання АКС у довільний момент t між моментами його останнього здійсненого та наступного адаптаційного змінення (відповідно, t_{n-1} і t_n) – це поповнюваний структурований кортеж

$$IM(t) = \langle r, \langle FM_v, SM_v, VM_v, \kappa_v \rangle, v=1, \dots, n \rangle, \quad (13)$$

де r – унікальне ім'я АКС.

Описану структуру інтенціонального подання АКС показано на рис. 2. Стрілками вгорі тут позначено послідовність адаптаційних змінень АКС. Кожне змінення ($\alpha(t_v)$) є композицією операцій над об'єктами неадекватності поведінки АКС потребам споживачів і/або умовам виконання, виявленими в моменти t_v і належними до зазначених у зауваженні 6 типів, аж до досягнення поточного стану АКС в момент t $IM(t)$ (13).

Як показано на рис. 2, складниками подання $IM(t)$ є “фрагменти” просторів проблеми й рішень АКС, формовані в процесах конструювання домену та застосувань у поточному n -му періоді між адаптаційними зміненнями АКС і взаємопов'язані за допомогою перетворення $\tau(\kappa_n, \cdot)$ та елементів інтегрованої моделі варіабельності.

Для визначення цих елементів зафіксуємо особливості варіабельності композитних Веб-сервісів [6]:

а) три її взаємопов'язані типи (k):

– *спостережувана* (exposed), призначена для опису припустимих змін операцій, протоколів і типів повідомлень в інтерфейсах ЦС з АКС ($k = 1$);

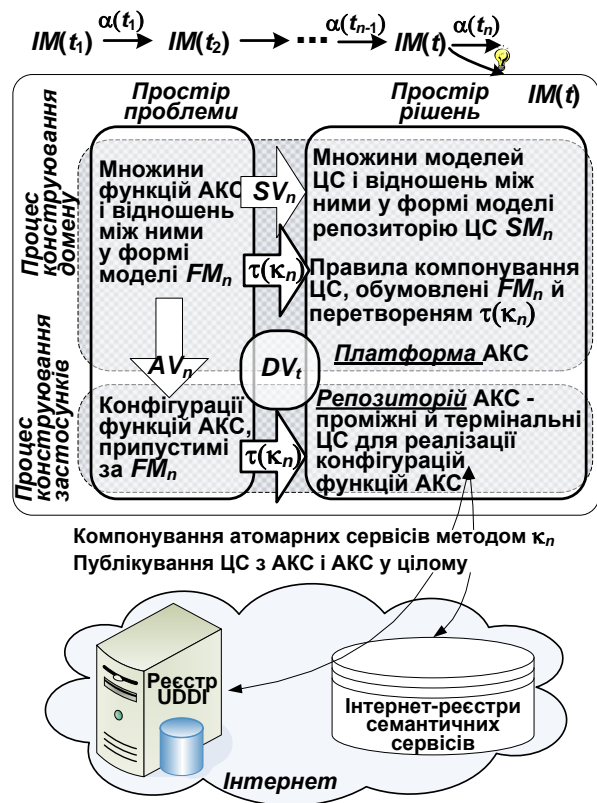


Рис. 2. Внутрішня структура АКС

– *композиційна* (composition), що відображає різноманітність способів конструювання компонентних сервісів для реалізації різних функцій АКС ($k = 2$);

– *компонентна* (partner), яка описує змінність взаємодій між складниками компонентного сервісу, що сам є композицією (композитних) сервісів з певним рівнем рекурсії ($k = 3$);

б) п'ять рівнів (l) реалізації згідно зі структурою АКС як СоПС [1]:

– потреб споживачів у Про, відображених у моделі функцій FM_v ($l = 1$);

– ділових процесів, суб'єктами яких є ці споживачі ($l = 2$);

– семантичних Веб-сервісів з підтримки ділових процесів, відображених у підмоделі ЦС CSt ($l = 3$);

– програмних компонентів, що реалізують функціональність сервісів ($l = 4$);

– операційних систем, під керуванням яких функціонують сервіси ($l = 5$).

З урахуванням особливостей а) і б), формалізуємо для АКС поняття динаміч-

них проявів її варіабельності (уточнення “динамічний” далі опущено для стислості).

Визначення 8 [6, 13]. Точка варіабельності АКС на рівні $l=1, \dots, 5$ типу $k=1, 2, 3$ – формальне подання робочого продукту процесу конструювання домену на рівні l , який можна реалізувати кількома способами в сенсі, відповідному типу k .

Варіант для точки варіабельності на рівні l типу k – формальне подання припустимого способу реалізації робочого продукту, який вона подає.

Залежність – відношення на декартовому добутку множин точок варіабельності й варіантів усіх рівнів і типів, яке обмежує вибір варіантів для певних точок варіабельності в залежності від їх вибору для інших точок варіабельності.

Обмеження – залежність, яка має місце тільки для точок варіабельності. Типові обмеження – відношення обумовленості/виключення.

Зауваження 7. Точка варіабельності функцій АКС – нетермінальна функція $f \in F_v \mid \exists \emptyset \neq VF \subset F_v \ C_F^{mn}(f, f^*)$, а варіанти f – варіантно підпорядковані їй функції $f^* \in VF$. Цю функцію f реалізує f -релевантний проміжний композитний сервіс $w = \tau(\kappa_v, f)$ (6), варіантами якого є сервіси

$$w^* = \tau(\kappa_v, f^*) \mid C_S^{mn}(w, w^*).$$

Зауваження 8. Варіанти довільного типу й рівня в АКС можна розподілити за чотири основними класами:

1) опціональний ($m=0, n=1$), що може і реалізуватися в ЦС, і бути відсутнім;

2) альтернативний ($m=n=1$), який має реалізуватися в ЦС тільки один з множини припустимих;

3) варіантний ($m=1, n \geq 1$) – має реалізуватися хоча б один з припустимих;

4) опціонально-варіантний ($m=0, n \geq 1$) – мають реалізуватися від жодного до всіх припустимих.

Уточнення моделей варіабельності в структурі та в артефактах канонічної лінії продуктів [17, 18] з урахуванням зафіксованих особливостей а) і б) варіабельності Веб-сервісів дозволяє сформулювати

Визначення 9 [13]. Модель варіабельності в структурі АКС у v -му періоді між його адаптаційними зміненнями – структурований кортеж

$$SV_v = \langle \langle G_{lkv}; \langle \langle G_{lk}, TR_{lkv} \rangle, l=2, \dots, 5 \rangle; \quad (14)$$

$$CN_{kv}; DP_{kv} \rangle, k=1, 2, 3; CN_v; DP_v \rangle,$$

де $G_{lkv} = (F_{lkv}, RF_{lkv})$ – граф, множину F_{lkt} вершин якого складають унікальні ідентифікатори точок варіабельності й їх варіантів і безваріантних робочих продуктів типу k на рівні l , а множину RF_{lkv} дуг – відношення взаємозалежності вершин;

$$TR_{lkt}, \quad l=2, \dots, 5 \quad \text{– двосторонні}$$

зв'язки трасовності між вершинами графів $G_{(l-1)kt}$ і G_{lkt} , що індукують відношення їх взаємозалежності як ізоморфне поширення відношень $IM_F, EQ_F, EX_F, C_F^{mn}$ між функціями АКС на нижчі рівні її структури;

$CN_{kv}, DP_{kv} : \otimes_{l=1, \dots, 5} F_{lkv} \rightarrow \{0; 1\}$ – предикати, що подають обмеження й залежності для варіабельності АКС типу k ;

$CN_v, DP_v : \otimes_{l=1, \dots, 5, k=1, 2, 3} F_{lkt} \rightarrow \{0; 1\}$ – предикати, що подають обмеження й залежності між точками варіабельності й варіантами АКС різних рівнів і типів.

На підтримку зв'язків трасовності TR_{lkv} в АКС треба застосовувати стандартизовані кращі практики конструювання домену [17, 18].

Модель SV_v (14) обумовлює уніфіковане формальне подання всіх робочих продуктів, створених, створюваних чи передбачених в АКС після її адаптації в момент t , відповідно до

Визначення 10 [13]. Модель варіабельності робочих продуктів (артефактів) АКС – множина їх подань як структурованих кортежів $av(id_{mkt})$, що є “наскрізними фрагментами” моделі SV_v (14):

$$AV_v = \{av(id_{mkv}), m=1, \dots, 5; k=1, 2, 3\}; \quad (15)$$

$$av(id_{mkv}) = \langle \langle g_{1kv}; \langle \langle g_{lkv}, tr_{lkv} \rangle; l=2, \dots, m \rangle; \langle \langle p_{lkv}, tr_{lkv} \rangle; l=m+1, \dots, 5 \rangle; cn_{kv}; dp_{kv} \rangle, k=1, 2, 3; cn_t; dp_t \rangle,$$

де id_{mkv} – унікальний ідентифікатор робочого продукту;

g_{ukv} і p_{ukv} – підграфи графа G_{lkt} , а решта елементів – відповідні звуження елементів SV_t (13).

Запровадження моделей SV_v (14) і AV_v (15) надає додаткові можливості адаптації ЦС з АКС і АКС загалом як під час проектування, так і під час виконання:

– точки варіабельності робочих продуктів АКС, насамперед функцій і ЦС, стають “центрами” її локалізації та “мішенями” змін, передбачених на момент t в просторі проблеми АКС у разі певних подій, сутність яких описують варіанти;

– допоміжна модель робочого продукту АКС $av(id_{mkv})$ визначає для $f \in F_v$ множину f -релевантних ЦС, які на момент t можна згенерувати в АКС, і виокремлює серед них ЦС з точками варіабельності, придатні до передбачених змін під час їх запуску й виконання;

– модель AV_v (15) зіставляє кожній точці варіабельності в певному ЦС множини передбачених варіантів;

– постачальник АКС, брокери й різномірні споживачі його функцій можуть публікувати моделі (14), (15) (в цілому і по фрагментах за рівнями й типами варіабельності) та багаторазово незалежно застосувати й налаштувати їх.

Спираючись на формалізацію структури АКС у моделі SV_v (14), запровадимо останній складник DV_v – діагностичну модель рівня варіабельності.

Визначення 11. Діагностична модель рівня задовільності варіабельності АКС у v -му періоді між його адаптаційними змінами – це пара

$$DV_v = (EV_v, NT); \quad (16)$$

$$EV_v = \langle il_k; \langle vl_{lk}, rl_{lk}, pl_{lk}, ml_{lk} \rangle; ia_k; \langle va_{lk}, ra_{lk}, pa_{lk}, pu_{lk} \rangle; \langle NA_{lik}, CA_{lik}, l, i=1, \dots, 5 \rangle; k=1, 2, 3 \rangle, \quad (17)$$

де EV_v – рівень задовільності поточної варіабельності АКС для зацікавлених сторін (у (17) індекс v вилучено для спрощення нотації);

il_k, ia_k – інтегральні рівні автономної варіабельності АКС та її відповідності потребам її постачальника, брокерів і споживачів з різними ролями;

vl_{lk} і va_{lk} – проміжні рівні автономної варіабельності типу k та її відповідності, формовані робочими продуктами l -го рівня АКС;

rl_{lk}, pl_{lk} і ml_{lk} – вкладені рівні варіабельності типу k , передбаченої й реалізованої для робочих продуктів l -го рівня АКС, та ступеню відповідності між ними;

$ra_{lk}, pa_{lk}, pu_{lk}$ – вкладені ступені адекватності передбаченої й реалізованої варіабельності типу k в робочих продуктах l -го рівня АКС потребам її постачальника, брокерів і споживачів з різними ролями, а також ефективності повторного використання робочих продуктів;

NA_{lik} – множина робочих продуктів l -го рівня АКС, що обумовлюють діагностовану неадекватність типу $i \in NT$ в сенсі варіабельності типу k і тому є безпосередніми об’єктами адаптаційних змін;

CA_{lik} – множина операцій адаптаційної зміни, які мають застосовуватися до відповідних елементів NA_{lik} для опрацювання діагностованої неадекватності типу i й розглянуті далі;

NT – перелік типів неадекватності АКС, що зумовлюють незадовільність рівня варіабельності та опрацьовуються за допомогою адаптаційних змін.

На підставі аналізу технік керування варіабельністю Веб-сервісів [6] до складу NT внесено такі типи неадекватності (i):

1) “надлишковість” – наявність робочих продуктів (від функцій до складни-

ків проміжного програмного забезпечення), незастосовних/неокупних під час виконання АКС ($i=1$);

2) “неповнота” – відсутність в поточних просторах проблеми і/або рішень АКС робочих продуктів (насамперед, функцій $f \in F_v$ і/або ЦС їх реалізації $\tau(\kappa_v, f)$ (5), (6) та сервісів платформи $wd(\kappa_v)$, запитаних значущою більшістю її зацікавлених сторін ($i=2$);

3) “клони” – наявність робочих продуктів, повністю взаємозамінних під час конструювання або виконання АКС ($i=3$);

4) “хибна структура” – наявність робочих продуктів, для яких мають місце незадовільні відношення з точками варіабельності певних типів і/або їх варіантами;

5) “хибні взаємозв’язки” – наявність робочих продуктів, для яких мають місце незадовільні відношення обумовленості, зіставлення або, відповідно, виключення.

Для застосування DV_v листки й вузли моделі EV_v (17) слід доповнити експертно формованими вербально-числовими шкалами – наборами пар “опис стану АКС в термінах спостережених значень складників EV ; рівень критичності”. Ці шкали доцільно формувати шляхом узагальнення експертних суджень відповідальних представників основних рольових груп організації-постачальника АКС за допомогою класичних технік групового експертного оцінювання. Далі їх слід постійно уточнювати за результатами аналізу задоволеності брокерів і споживачів функцій АКС.

Хоча безпосереднім об’єктом адаптаційної зміни може бути робочий продукт довільного рівня l , подальший розгляд цих об’єктів обмежено функціями АКС ($l=1$) і ЦС їх реалізації ($l=3$), найбільш значущими для зацікавлених сторін АКС, і композиційною варіабельністю ($k=2$), найбільш відповідною меті її конструювання.

Застосування рамкової моделі АКС для його адаптування. Формалізуємо поняття ЦС АКС, як самостійного об’єкта адаптаційних змін, за допомогою

Визначення 12. В АКС з інтенсіональним поданням $IM(t)$ (13) *конфігурація* функцій – це зв’язний підграф $g=(SF, RF)$ моделі функцій FM_v (1) з коренем r , де вершини не пов’язані виключенням EX_F і зберігають свої відношення з FM_v .

Конфігурація сервісів – підграф $q=(SS, RS)$ моделі ЦС SM_v (7) з коренем w_0 , де вершини не пов’язані виключенням EX_S і зберігають свої відношення з SC_t .

Визначення 13. Нехай $C(FM_v)$ і $C(SC_v)$ – множини конфігурацій функцій і, відповідно, сервісів в АКС з інтенсіональним поданням (13) включно з порожньою конфігурацією \emptyset . Модель ЦС, який реалізує конфігурацію функцій $g=(SF, RF) \in C(FM_t)$, – це четвірка

$$tw(g) = \langle ip; g; \tau(\kappa_v, g), pr(ip) \rangle, \quad (18)$$

де ip – унікальний ідентифікатор ЦС; $\tau(\kappa_v, g) = (\{\tau(\kappa_v, f), f \in SF\}, RS)$ – образ конфігурації функцій g згідно з поточним перетворенням в АКС $\tau(\kappa_v, \cdot)$ (5), (6), RS – відношення ЦС згідно з визначенням 5;

$pr(ip)$ – протокол застосування ЦС tw (споживачами функцій АКС і для побудови інших ЦС) під час виконання АКС.

Зауваження 9. Оскільки $\tau(\kappa_v, \cdot)$ – ізоморфізм FM_v і SC_v як алгебраїчних моделей, $\tau(\kappa_v, g) \in C(SM_v)$, $v=1, \dots, n$.

Отже, згідно зі сформульованим визначенням, ЦС в АКС є системою атомарних семантичних сервісів зі складу платформи АКС AP_v (11) або, з іншого погляду, проміжних композитних ЦС $icw \in \cup_{k=2, \dots, n} IS_{kn}$ (10). Ці сервіси on-line взаємодіють під час виконання згідно з методом κ_v їх компонування для надання функцій g .

Прийняте визначення уможливорює екстенсіональне подання АКС. Разом з інтенсіональним поданням (13) воно утворює його *рамкову модель*.

Визначення 14. Екстенціональне подання АКС у певний момент t між моментами його останнього здійсненого й наступного адаптаційного змінення (відповідно, t_{n-1} і t_n) – це множина поточно виконуваних ЦС і необов’язкових технічних сервісів динамічної композиції (sc), моніторингу задовільності варіабельності АКС (vm), редагування моделі функцій (fe), постійно доступних у разі їх наявності:

$$EM(t) = \langle \langle ip; g; \tau(\kappa_n, g), pr(ip) \rangle, \\ g \in C(FM_n) \rangle; [fe]; [sc]; [vm] \rangle. \quad (19)$$

Сервіси fe , vm і sc необов’язково надаються програмно-апаратною платформою виконання АКС і тому позначені у виразі (19) як необов’язкові.

Функціями технічного сервісу vm є:

а) підтримка експрес-оцінювання рівня задовільності варіабельності АСК за підмоделлю діагностичною моделлю EV_t (17) і регламентом, заданим під час її проектування або останньої адаптації;

б) діагностування незадовільності цього ступеня та виявлення її джерел NA_{lik} ;

в) вироблення рекомендацій щодо адаптаційних дій з опрацювання виявленої незадовільності й надання необхідної інформації адаптеру va .

Сервіси fe і sc єр підтримують операції адаптаційного змінення з необхідним залученням архітектора АКС.

Слід зазначити, що змінний ЦС $tw(g)$ (18) з точками варіабельності являє собою “вкладену” АКС, де підмоделями функцій і, відповідно, сервісів стають конфігурації g і $\tau(\kappa_v, g)$.

Отримана рамкова модель АКС $\langle IM(t); EM(t) \rangle$ дозволяє формалізацію операцій адаптаційної зміни: як окремого ЦС без впливу на інші, так і АКС загалом. Наведені далі визначення є результатом уточнення для семантичних Веб-сервісів формального апарату [14], розробленого автором для канонічної лінії продуктів.

Визначення 15. Множина SA операцій адаптаційної зміни ЦС tw (18) в АКС $\langle IM(t); EM(t) \rangle$ (13),(19) має вигляд:

$$SA = PV \cup NV; PV = \{\delta^p, \alpha^p, \kappa^p\}; \quad (20)$$

$$NV = \{\delta^{ut}; \delta^{dn}; \delta^{mn}; \alpha^n; \kappa^n; \chi^n\},$$

де PV – операції передбаченої зміни, ініційовані з боку як функцій, так і ЦС та сервісів платформи, а саме узгоджене *вилучення* (δ^p) й *додолучення* (α^p) в точці варіабельності функцій або ЦС певного її варіанта чи його *заміна* (κ^p) іншим варіантом;

NV – операції непередбаченої зміни:

– узгоджене *додолучення* (α^n) й *заміна* (κ^n) окремого варіанта з їх множини в точці варіабельності функцій або ЦС і сервісів платформи у tw новою функцією або сервісом її реалізації як новим варіантом (із збереженням складу обов’язкових функцій і сервісів), ініційоване як з боку функцій, так і з боку сервісів;

– реалізація операцій α^n і κ^n для довільної вершини графів $g, \tau(\kappa_v, g)$ у (18);

– узгоджене *коректне* (у сенсі зв’язності графу $\tau(\kappa_v, g)$ з (18)) *вилучення* (δ^{ut}) обов’язкового сервісу $w \in \tau(\kappa_v, g)$ і функції $f = \tau^{-1}(\kappa_v, g)$, реалізовуваної w , “згори” (тобто з необхідними змінами підпорядковуючого сервісу), за якого склад обов’язкових функцій і сервісів змінюється;

– *вилучення* “знизу” (δ^{dn}) – навпаки, з потрібними змінами підпорядкованого сервісу для цілісності $\tau(\kappa_v, g)$;

– *вилучення* “зсередини” (δ^{mn}) із взаємним узгодженням ЦС, “суміжних” у $\tau(\kappa_v, g)$, і зміненнями конфігурації функцій;

– узгоджене *перепідпорядкування* (χ^n) функцій і сервісів, ініційоване як з боку функцій, так і з боку сервісів.

Зауваження 10. Операції PV можливі тільки для ЦС з точками варіабельності. Вони забезпечують пристосування ЦС

до змін, передбачених в поточних продуктах процесу конструювання домену, а змінений ЦС залишається в межах АКС. Натомість, операції NV реалізують адаптацію ЦС до непередбачених змін потреб споживачів і умов виконання поширенням функції змінених ЦС поза межі АКС.

Користуючись рамковою моделлю АКС (13), (19), сформулюємо

Визначення 16. Множина FA операцій адаптаційного змінення АКС містить:

а) множину SA (20) операцій адаптаційної зміни ЦС з АКС, застосованих до графів підмоделей FM_v (1) і SM_v (7);

б) операції *вилучення* з платформи AP_v (11) і/або з репозиторію S_v (10) *сервісу-клубу* чи сервісу, що став недоступним/не-прийнятним за показниками якості (QoS);

в) операції *додолучення* до AP_v семантичного сервісу з описом $wd(\kappa_v)$ у форматі методу κ_v , – безпосереднього та опосередкованого, у композиціях для термінальних і проміжних композитних сервісів;

г) операції *еволюції* сервісів з платформи AP_v і ЦС з репозиторію АКС S_v разом з дододолученням описів нових набутих функцій до моделі функцій FM_v (1).

Висновки

Обґрунтовано актуальність нового підходу до автоматизованого відшукування релевантних сервісів у семантичному Веб-середовищі під час виконання та їх компонування на підтримку складних розподілених ділових процесів сучасних організацій. Підхід уможливує адаптивність композитного сервісу (його здатність до зміни поведінки для задоволення нових вимог і пристосування до нових передбачених і непередбачених умов виконання) та його застосовність у незалежних композиціях третіх сторін. Він є також інваріантним до методу компонування.

Базовими конструкторами підходу є рамкові моделі: самого композитного сервісу, процесу його поетапного конструювання, окремого етапу цього процесу та

операцій адаптування композитного сервісу на підставі його наданої моделі. Останню формалізовано за допомогою розгляду композитного сервісу як динамічної лінії проміжних і термінальних композитних семантичних сервісів реалізації припустимих підмножин його поточних функцій.

Вироблено установчі рішення з конструювання такого композитного сервісу (з первинним проектуванням і подальшим поетапним адаптуванням до змін потреб користувачів, умов виконання і/або відмов), модельованого як процес керування його динамічною варіабельністю в концептуальному середовищі, структурованому на підставі моделі властивостей. Запропоновано діагностичну модель варіабельності для виявлення потреб і стратегій адаптування. Визначено операції реалізації стратегій – зміни окремого складника композитного сервісу та його самого в цілому відповідно до передбачених (під час проектування) й непередбачених (під час виконання) змін потреб користувачів, параметрів середовища виконання і/або відмов сервісів-складників.

Запровадження запропонованого підходу в сучасних організаціях сприятиме підвищенню ефективності використання й реінжинірингу ділових процесів з різнорідними й нестабільними контекстами. Необхідний для цього розвиток рамкових моделей з метою підтримки оптимізації та адаптування композиції до проявів її незадовільної якості та їх уточнення для окремих ефективних методів компонування семантичних Веб-сервісів – предмет подальших досліджень автора.

1. Андон П.І., Бабенко Л.П. Проблеми і можливості програмування в середовищі SEMANTIC WEB. *Проблеми програмування*. 2012. № 2-3. С. 363–373.
2. Kazhamiakin R., Benbernou S., Baresi L. et al. Adaptation of Service-Based Systems. In: M. Papazoglou et al. (Eds.): *Service Research Challenges and Solutions*, LNCS 6500. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. P. 117–156.

3. Alférez G.H., Pelechano V. Facing uncertainty in Web service compositions. *Int. J. of Services Computing*. 2014. Vol. 2. N. 2. P. 1–16.
4. Alférez G., Pelechano V., Mazo R. Dynamic Adaptation of Service Compositions with Variability Models. *J. of Syst. and Software*. Vol. 91. 2014. P. 24–47.
5. Bucchiarone A. et al. Design for Adaptation of Service-Based Applications: Main Issues and Requirements. Dan A., Gittler F., and Toumani F. (Eds.): *ICSOC/ServiceWave 2009*. LNCS 6275. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. P. 467–476.
6. Nguyen T., Colman A., Han J. Comprehensive Variability Modeling and Management for Customizable Process-Based Service Compositions. In: Bouguettaya A. *Web Services Foundations*. Springer: Science & Business Media, 2013. P. 507–534.
7. Bucchiarone A., De Sanctis M., Pistore M. Domain Objects for Dynamic and Incremental Service Composition. In: Villari M. et al. (Eds.) *Proc. ESOC 2014*, Manchester, UK – LNCS 8745. 2014. P. 62–80.
8. Kazhamiakin R., Marconi A., Pistore M. Data-Flow Requirements for Dynamic Service Composition. *Proc. IEEE 20th International Conference on Web Services*. 2013. P. 243–250.
9. Kapuruge M., Han J., Colman A. Service orchestration as organization: Building multi-tenant service applications in the Cloud. 2014. 363 p.
10. Zeginis C., Plexousakis D. Веб Service Adaptation: State of the art and Research Challenges. Technical Report 410. *ICS-FORTH*, 2010. 66 p.
11. Rodriguez-Mier P., Pedrinaci C., Mucientes M., Lama M. An Integrated Semantic Web Service Discovery and Composition Framework. 2015. [Electronic resource]. Mode of access <https://arxiv.org/pdf/1502.02840.pdf>.
12. Bansal S., Bansal A., Gupta G., Brian Blake M. Generalized semantic Web service composition. *Service Oriented Computing and Applications*. 2016. Vol. 10. Is. 2. P. 111–133.
13. Слабоспицька О.О. Технологічна модель процесу побудови та використання адаптивної композиції Веб-сервісів. *Проблеми програмування*. 2015. № 2. С. 52–62.
14. Slabospickaya O. Feature Model of Software Product Line Enhancing to Enable Product Adaptability In: *Bulletin of University of Kiev. Series: Physics & Mathematics*, special issue, 2014. P. 151–158. (in Ukrainian).
15. Moghaddam M., Davis J. Service Selection in Web Service Composition: A Comparative Review of Existing Approaches. In: Bouguettaya A. *Веб Services Foundations*. Springer: Science & Business Media, 2013. P. 321–346.
16. Capilla R. et al. An overview of Dynamic Software Product Line architectures and techniques: Observations from research and industry. *J. Syst. Software*. 2014. P. 1–21.
17. Van der Linden F., Schmid K., Rommes E. Software product lines in action: the best industrial practice in product line engineering. Heidelberg: Springer, 2007. 340 p.
18. ISO/IEC 26550:2015 Software and systems engineering. Reference model for product line engineering and management. Ed. 2. 2015. 35 p.
19. Lee K. Concepts and Guidelines of Feature Modeling for Product Line Software Engineering. 7th Int. Conf. on Software Reuse: proceedings. Springer-Verlag, 2002. P. 62–77.
20. ДР 0112U002764 Розробка теоретичних основ та прикладних питань побудови сервіс-орієнтованих прикладних програмних систем у семантичному Веб-середовищі. Звіт про НДР (заключний). К.:, ІПС НАНУ, 2016. 280 с.

References

1. Andon P.I. The Problems and Opportunities of Programming in SEMANTIC WEB / P.I.Andon, L.P.Babenko // *Problems of Programming*. – 2012. – N 2-3. – P. 363–373. (In Ukrainian).
2. Kazhamiakin R. Adaptation of Service-Based Systems / R.Kazhamiakin, S.Benbernou, L.Baresi et al. // In: M. Papazoglou et al. (Eds.): *Service Research Challenges and Solutions*, LNCS 6500. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – P. 117–156
3. Alférez G.H. Facing uncertainty in Веб service compositions. / G.H.Alférez, V.Pelechano // *Int. J. of Services Computing* – 2014. – V.2. – N. 2. – P. 1–16.
4. Alférez G. Dynamic Adaptation of Service Compositions with Variability Models / G.Alférez, V.Pelechano, R.Mazo // *J. of Syst. and Software*. – V. 91. – 2014. – P.24–47.
5. Bucchiarone A. et al. Design for Adaptation of Service-Based Applications: Main Issues and Requirements // A. Dan, F. Gittler, and F.

- Toumani (Eds.): ICSSOC/ServiceWave 2009. – LNCS 6275. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – P. 467–476.
6. Nguyen T. Comprehensive Variability Modeling and Management for Customizable Process-Based Service Compositions / T.Nguyen, A.Colman, J.Han // In: Bouguettaya A. Веб Services Foundations – Springer: Science & Business Media, 2013. – P. 507–534
 7. Bucchiarone A. et al. Domain Objects for Dynamic and Incremental Service Composition / A.Bucchiarone, M. De Sanctis, M. Pistore // In: Villari M. et al. (Eds.) Proc. ESOC 2014, Manchester, UK – LNCS 8745, 2014. – P. 62–80.
 8. Kazhamiakin R. et al. Data-Flow Requirements for Dynamic Service Composition / R.Kazhamiakin, A.Marconi, M.Pistore // Proc. IEEE 20th International Conference on Веб Services – 2013. – P. 243–250.
 9. Kapuruge M. et al. Service orchestration as organization: Building multi-tenant service applications in the Cloud. / M.Kapuruge, J.Han, A.Colman – 2014 – 363 p.
 10. Zeginis C. Веб Service Adaptation: State of the art and Research Challenges. Technical Report 410 / C.Zeginis, D.Plexousakis – ICS-FORTH, 2010. – 66 p.
 11. Rodríguez-Mier P. An Integrated Semantic Web Service Discovery and Composition Framework / P.Rodríguez-Mier, C.Pedrinaci, M. Mucientes, M.Lama, 2015. [Electronic resource]. – Mode of access <https://arxiv.org/pdf/1502.02840.pdf>.
 12. Bansal S. Generalized semantic Web service composition / S.Bansal, A.Bansal, G.Gupta, M.Brian Blake// Service Oriented Computing and Applications. – 2016. – V.10. – Is. 2. – P. 111–133
 13. Slabospitskaya O.A. Technological model for the process of adaptive Web service composition engineering and exploiting / O.A. Slabospitskaya // Problems in Programming – 2015. – № 2. – P. 52– 62. (in Ukrainian).
 14. Slabospickaya O. Feature Model of Software Product Line Enhancing to Enable Product Adaptability In: Bulletin of University of Kiev. Series: Physics & Mathematics, special issue, 2014. – P. 151–158. (in Ukrainian).
 15. Moghaddam M. Service Selection in Web Service Composition: A Comparative Review of Existing Approaches / M. Moghaddam, J. Davis // In: Bouguettaya A. Веб Services Foundations – Springer: Science & Business Media, 2013. – P. 321–346
 16. Capilla R. et al. An overview of Dynamic Software Product Line architectures and techniques: Observations from research and industry / R.Capilla // J. Syst. Software. – 2014. – P. 1–21.
 17. Van der Linden F. Software product lines in action: the best industrial practice in product line engineering. / F.Van der Linden, K.Schmid, E.Rommes – Heidelberg: Springer, 2007. – 340 p.
 18. ISO/IEC 26550:2015 Software and systems engineering. Reference model for product line engineering and management. Ed. 2. – 2015. – 35 p.
 19. Lee K. Concepts and Guidelines of Feature Modeling for Product Line Software Engineering / K. Lee // 7th Int. Conf. on Software Reuse: proceedings. –Springer-Verlag, 2002. – P. 62–77.
 20. DR 0112U002764 Theoretical Fundamentals and Applied Issues Investigation of Applied Service-oriented Information Systems Engineering in Semantic Web. Research report (final).). – К.: SSI NASU, 2016. – 280 p. (in Ukrainian).

Одержано 15.04.2017

Про автора:

Слабоспицька Ольга Олександрівна,
кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник.
Кількість наукових публікацій в
українських виданнях – більше 50.
Кількість наукових публікацій в
зарубіжних виданнях – 5.
<http://orcid.org/0000-0001-6556-0947>

Місце роботи автора:

Інститут програмних систем
НАН України,
03187, Київ-187,
проспект Академіка Глушкова, 40.
Тел.: +38(044) 526 4286.
E-mail: olsips2017@gmail.com