

## УНІФІКОВАНИЙ ПРОЦЕС КОМПОЗИЦІЇ АДАПТИВНОГО СЕРВІСУ В СЕМАНТИЧНОМУ ВЕБ-СЕРЕДОВИЩІ

Розроблено нову технологічну модель процесу on-line композиції семантичного Веб-сервісу, адаптивного (здатного до змін поведінки для задоволення нових вимог і пристосування до нових (не)передбачених ситуацій) і застосовного третіми сторонами, на підтримку (не)передбачено змінних ділових процесів. Згідно з попередньою моделлю адаптивного сервісу як динамічної лінії сервісів надання суб'єктам ділових процесів передбачених функцій на етапах між зміненнями їх потреб, модельований процес подано послідовністю етапів композиції цих сервісів з лінії, уніфікованих щодо її методу (функціонального й процесного рівня). Етап реалізує композицію операцій функцій керування варіабельністю лінії (формування/адаптування моделі функцій і платформи сервісів, композиції сервісів для цих функцій, діагностичного моніторингу варіабельності) в спільному інформаційному середовищі, структурованому за моделлю функцій. Розгортання описаного процесу в середовищі ділових процесів із змінними й різнорідними контекстами сприятиме підвищенню ефективності їх застосування й реінжинірингу.

Ключові слова: сервіс-орієнтована програмна система, семантичний Веб-сервіс, адаптивність, динамічна лінія програмних продуктів, динамічна варіабельність, метод композиції семантичного Веб-сервісу, під час виконання, процес композиції адаптивного семантичного Веб-сервісу, операція адаптування.

### Постановка проблеми

На сучасному етапі розвитку інформаційного суспільства в світі та Україні on-line композиція виконуваних Веб-сервісів, відшукуваних в Інтернет, є де-факто стандартом корпоративних інформаційних систем, званих *сервіс-орієнтованими програмними системами* (СоПС) [1, 2]. У жорстко формалізованих предметних областях (ПрО) СоПС ефективно підтримують усталений перебіг ділових процесів організації-споживача, передбачений під час їх проектування. Однак в актуальних наразі слабо формалізованих ПрО, де ділові процеси розподілені, їх структури, ролі й очікування суб'єктів та параметри інфраструктури доступу до Веб-сервісів різнорідні й непередбачувано змінні [3], вимоги до якості сервісів дедалі жорсткіші, а ресурси розроблення обмеженіші, – цього недостатньо [1–7]. В таких ПрО дійсне стійке досягнення декларованих переваг СоПС – зниження трудомісткості з дотриманням запитаної якості й окупності [1, 4, 7] – додатково вимагає принаймні їх *адаптивності* й *on-line застосовності* третіми сторонами на підставі стандартизованих описів у реєстрах Інтернет.

Адаптивність СоПС визначено як його здатність до змінення поведінки для

задоволення нових вимог і пристосування до нових (не)передбачених ситуацій під час виконання [2, 4, 6–8]. Очевидні ситуації такого типу – недоступність і незадовільність якості компонентного сервісу в СоПС – вимагають якомога швидше й ефективніше перекомпонувати її з сервісом-замінником. Тому обов'язковою передумовою адаптивності СоПС стає підтримка якомога швидкого й узгодженого багаторазового on-line виконання (званого далі *динамічним*): виявлення (*discovery*), добору (*selection*) і композиції відібраних сервісів за поточними вимогами до композитного сервісу [2, 9, 10].

В роботі [11] на підставі аналізу обмежень показових підходів до динамічної композиції семантичних Веб-сервісів автором обґрунтовано актуальність й запропоновано установчі рішення нового підходу до неї, зорієнтованого на підтримку розподілених і змінних процесів сучасних організацій. Він надає сервіс, який має зазначені властивості адаптивності та застосовності й тому названий адаптивним композитним семантичним Веб-сервісом (АКС).

Стаття, презентована наразі, є безпосереднім продовженням [11]. Її мета –

обґрунтування додаткової вимоги уніфікації процесу динамічної композиції АКС щодо широкого класу методів композиції семантичних Веб-сервісів та формалізація його технологічної моделі як другого складника запропонованого підходу (першим є модель самого АКС).

Стаття підсумовує доробок автора в проєкті ДР 0112U002764 ІПС НАН України під керівництвом академіка НАН України, д. фіз.-мат. н. П.І. Андона в 2016–2018 рр.

### Актуальність уніфікації процесу композиції АКС

Аналіз актуального доробку інженерії СоПС на підставі доступних автору джерел [4–10, 12–28] висвітлюють розгляд виявлення (й інколи добору) семантичних Веб-сервісів [9, 10] та їх композиції [12] за певним запитом як *автономних одноразових* дій у життєвому циклі сервіс-орієнтованого застосунку, а також істотне розмежування двох зазначених груп методів та їх значну змістовну різноманітність. Зокрема, поширені методи композиції семантичних Веб-сервісів можна розподілити по чотирьох (перетинних) класах:

- подання композитного сервісу орієнтованим ациклічним графом [13–16] ( $C_1$ );
- подання композитного сервісу розв'язком спеціальної задачі планування через перевірку моделей [17–19] ( $C_2$ );
- на підставі шаблонів, розроблених архітектором композитного сервісу [20, 21] ( $C_3$ );
- на підставі показників якості (QoS) композитного сервісу [22, 23] ( $C_4$ ).

Узгоджене динамічне виявлення й композицію безпосередньо підтримують лише методи класу  $C_1$ . Вони передбачають семантичне анотування на функціональному рівні:

- входів і виходів сервісів (P. Rodríguez-Mier [13, 14]);
- входів, виходів, перед- і постумов (S. Bansal [15]), а також долучення до подання [15] елементів опису сервісу на

процесному рівні – множин побічних впливів його операцій та об'єктів цих впливів [16].

Для решти методів, насамперед [17], де застосовано семантичне анотування станів компонентних сервісів твердженнями дескриптивної логіки у традиційному форматі T-box і A-box на процесному рівні, необхідне додаткове формування множини компонентних сервісів, яке імітує їх виявлення.

Але привабливі функціональні можливості методів класів  $C_2$ – $C_4$  з підтримки змінних і контекстно-залежних ділових процесів зумовлюють нагальну потребу забезпечення їх спільної застосовності під час композиції адаптивного семантичного Веб-сервісу, тобто її *уніфікації* щодо застосованого методу.

У свою чергу, доробок з підтримки адаптивності сервіс-орієнтованого застосунку поєднує два класи підходів:

- зорієнтовані на певний метод композиції (зокрема, планування через перевірку моделей [24, 25]; віртуальну адаптивну організацію сервісів [26]);
- універсальні, інваріантні до методу композиції й зорієнтовані на п'ятирівневу структуру сервіс-орієнтованого застосунку [1, 2, 4, 7].

Показовими прикладами універсальних підходів є:

- каркас моніторингу й адаптування сервіс-орієнтованого застосунку в його життєвому циклі (проєкт S-Cube<sup>1</sup>) [4, 7, 8], що підтримує проактивне узгоджене змінення всіх структурних рівнів застосунку – від ділових процесів і потреб споживачів до операційних систем;
- подання сервіс-орієнтованого застосунку динамічною лінією проміжних і термінальних сервісів на підтримку поточно передбачених потреб споживачів [5, 6];
- побудова сервіс-орієнтованого застосунку на засадах повно-аспектного управління його спеціально визначеною *варіабельністю* – здатністю до ефективного розвитку, зміни, налаштування або кон-

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

фігурування для використання в певному контексті [27];

– використання шаблонів адаптування на засадах модельно-орієнтованої інженерії [28].

На жаль, навіть зазначені універсальні підходи потребують доступу до внутрішньої структури формованого за стосунку. Вони реалізують його адаптування початальником [6, 8, 26] та, в обмеженому обсязі, передбаченим підписувачем [24, 27], не забезпечуючи незалежної застосовності третіми сторонами.

Урахування змінності підтримуваних ділових процесів, очікувань, обізнаності й кваліфікації їх суб'єктів та широкого (й наразі поповнюваного) кола застосовних методів динамічної композиції семантичних Веб-сервісів зумовлює додаткову вимогу *уніфікації* його етапів за структурою та способом застосування різних методів динамічної композиції семантичних Веб-сервісів функціонального й процесного рівня. На підставі проведеного аналізу загальноживаної підмножини цих методів прийнято природну вимогу до них: якщо два Веб-сервіси, скомпоновані певним методом з двох різних множин компонентних сервісів, надають споживачам одні й ті самі функції, то їх надає й сервіс, скомпонований з елементів об'єднання цих множин.

### Технологічна модель процесу динамічної композиції АКС

**Конструктивне подання АКС.** У руслі запропонованого підходу [11] АКС подано динамічною лінією програмних продуктів [29]. Ці продукти – семантичні Веб-сервіси, названі *цільовими* (ЦС). ЦС стало надають поточно передбаченим суб'єктам змінних ділових процесів у цільовій Про передбачені для них (можливо, змінні) функції, поки вони відповідають потребам споживачів та умовам виконання АКС. У разі діагностування невідповідності її усувають шляхом автоматизованого *адаптаційного змінення* – узгодженого оновлення складу і взаємозв'язків функцій та складу і структури ЦС для них за допомогою визначених в [11] операцій адапту-

вання. Після відновлення задовільної відповідності розпочинається наступний період сталого надання оновлених функцій поточним споживачам.

Конструктивну формалізацію наведеного змістовного опису АКС надає

*Визначення 1.* Формальна модель АКС у певний момент  $t \in (t_{(n-1)}; t_n]$  після останнього й до наступного адаптаційного змінення – це набір усіх попередніх уніфікованих подань АКС між зміненнями:

$$AM(t) = \langle (IM_u, EM_u), u = 1, \dots, n-1, (IM_u, EM(t)) \rangle, \quad (1)$$

$$IM_u = \langle FM_u, SM_u, VM_u, AP_u, \kappa_u, u = 1, \dots, n \rangle; \quad (2)$$

$$EM(t) = \langle TS(t); ES(t); [fe]; [sc]; [vm] \rangle, \quad (3)$$

де  $IM_u$  – інтенсіональне подання АКС [11] упродовж часу  $t \in (t_{(u-1)}; t_u]$ , складене відповідно моделями функцій, ЦС, інтегрованою моделлю варіабельності, платформою, застосованим методом композиції сервісів;

$EM(t)$  – екстенсіональне подання АКС у момент  $t \in (t_{(u-1)}; t_u]$ , утворене наданими композитними термінальними сервісами з платформи, ЦС для функцій з  $FM_u$  й необов'язковими технічними сервісами – редагування функцій ( $fe$ ), динамічної композиції ( $sc$ ), діагностичного моніторингу задовільності варіабельності ( $vm$ ).

Склад і структуру актуального подання АКС  $(IM_n, EM(t))$  формально визначено в [11] і показано на рис. 1. Як зазначено на рисунку, в довільному  $u$ -му періоді сталого надання функцій запроваджене відображення  $\tau(\kappa_u, \cdot)$  їх *перетворення* в ЦС за допомогою поточного методу  $\kappa_u$  реалізує ізоморфізм між множинами функцій і ЦС, забезпечуючи повноту й однозначність їх надання споживачам.

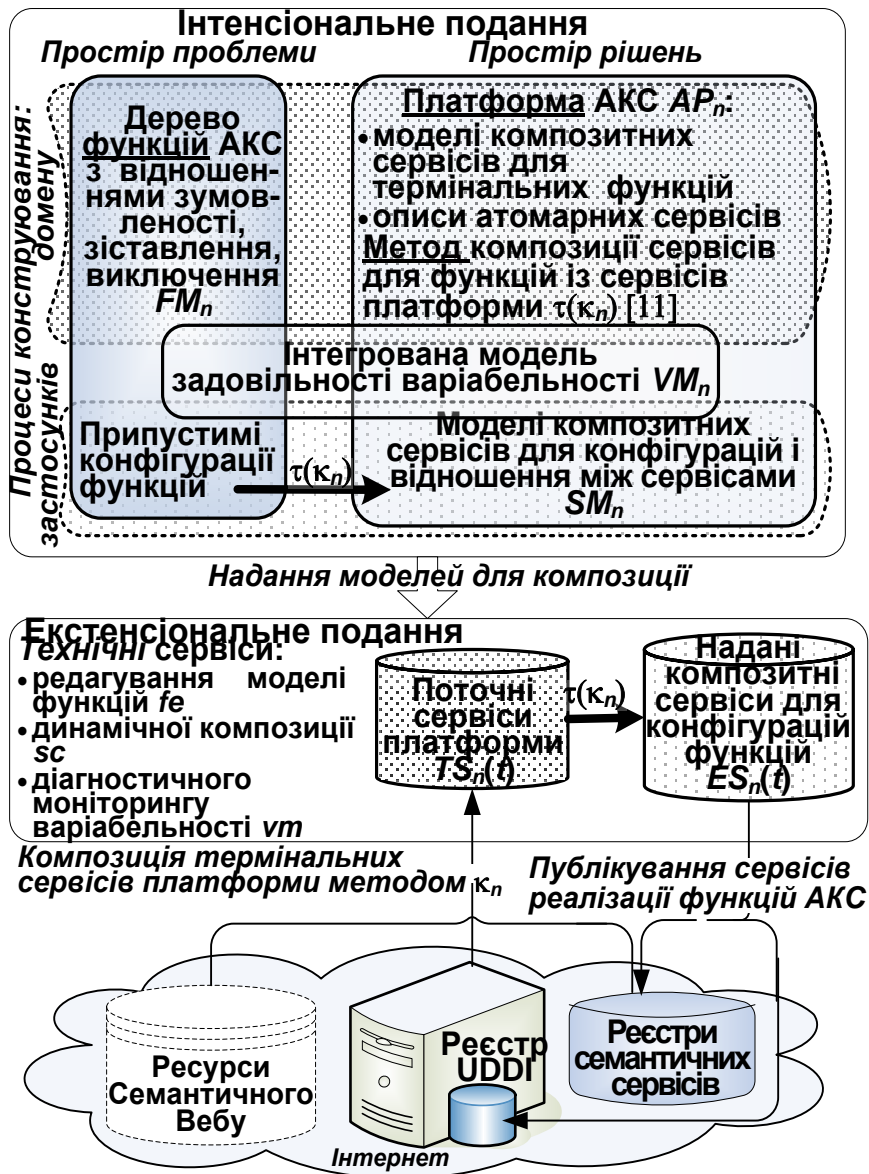


Рис. 1. Подання АКС у певний момент між  $(n-1)$ -м і  $n$ -м адаптаційними зміненнями

**Змістовний опис процесу композиції АКС.** Розроблена технологічна модель процесу динамічної композиції АКС узагальнює попередні технологічні моделі процесів автоматизованого виробництва сімейств програмних систем [31] та адаптивної композиції «несемантичних» Веб-сервісів [32] згідно з рішеннями [11].

Цей процес модельовано як процес керування варіабельністю [27, 29] динамічної лінії ЦС  $\{AM(t), t > 0\}$  (1). Його подано поповнюваною послідовністю етапів

$$\langle ET_u, t \in (t_{(u-1)}; t_u], u \geq 1 \rangle, \quad (4)$$

обмежених моментами  $t_{(u-1)}$  і  $t_u$  послідовних адаптаційних змінень АКС. Ці етапи уніфіковано за способом застосування поточно вибраного метода композиції сервісів  $\kappa_u$  у відображенні перетворення  $\tau(\kappa_u, \cdot)$  [11] і внутрішньою структурою.

З одного боку, етапи  $ET_u, u \geq 1$  з (4) уніфіковано реалізують процес керування варіабельністю традиційної лінії програмних продуктів для відповідних їм у часі «фрагментів» АКС

$$\langle \langle IM_u, EM(t), t \in (t_{(u-1)}; t_u] \rangle, u \geq 1. \quad (5)$$

Тому, згідно з рамковою структурою процесу керування варіабельністю [30] й установчими рішеннями запропонованого підходу до побудови АКС [11], кожний етап  $ET_u$ ,  $u \geq 1$  подано композицією операцій універсальних функцій керування варіабельністю лінії [31, 32] в їх спільному інформаційному середовищі  $ENV_u$ , структурованому на підставі моделі функцій  $FM_u$  і результатів попередніх етапів.

Ці функції разом реалізують відомий цикл Дьомінга для керування варіабельністю традиційної лінії програмних продуктів [31]. Вони охоплюють:

- планування варіабельності в структурі й артефактах лінії ( $F_1$ );
- реалізацію запланованої варіабельності в артефактах і продуктах ( $F_2$ );
- діагностичний моніторинг задовільності варіабельності ( $F_3$ );
- адекватну еволюцію лінії за результатами моніторингу ( $F_4$ ).

Для модельованого процесу функції  $F_1 - F_4$  доповнено сервісною функцією його технологічного підготування ( $F_0$ ), операції якої мають бути виконані одноразово на початку процесу. Спеціальну роль запроваджених функцій  $F_0 - F_4$  та їх операції в процесі композиції АКС схарактеризовано в наступному пункті статті.

З іншого боку, кожний етап  $ET_u$ ,  $u \geq 1$  з (4) реалізує для відповідного “фрагмента” АКС (5) рамковий життєвий цикл (ЖЦ) [9] композитного семантичного Веб-сервісу, що стало підтримує потреби передбачених споживачів, зафіксовані в  $FM_u$ , поки зміни цих потреб і/або умов виконання не призведуть до невідповідності їм надаваних функцій. Тоді розпочинається новий етап  $ET_{(u+1)}$  – ЖЦ “нового” Веб-сервісу з адаптованими функціями і/або ЦС.

Розглянуту внутрішню структуру модельованого процесу динамічної композиції АКС показано на рис. 2.

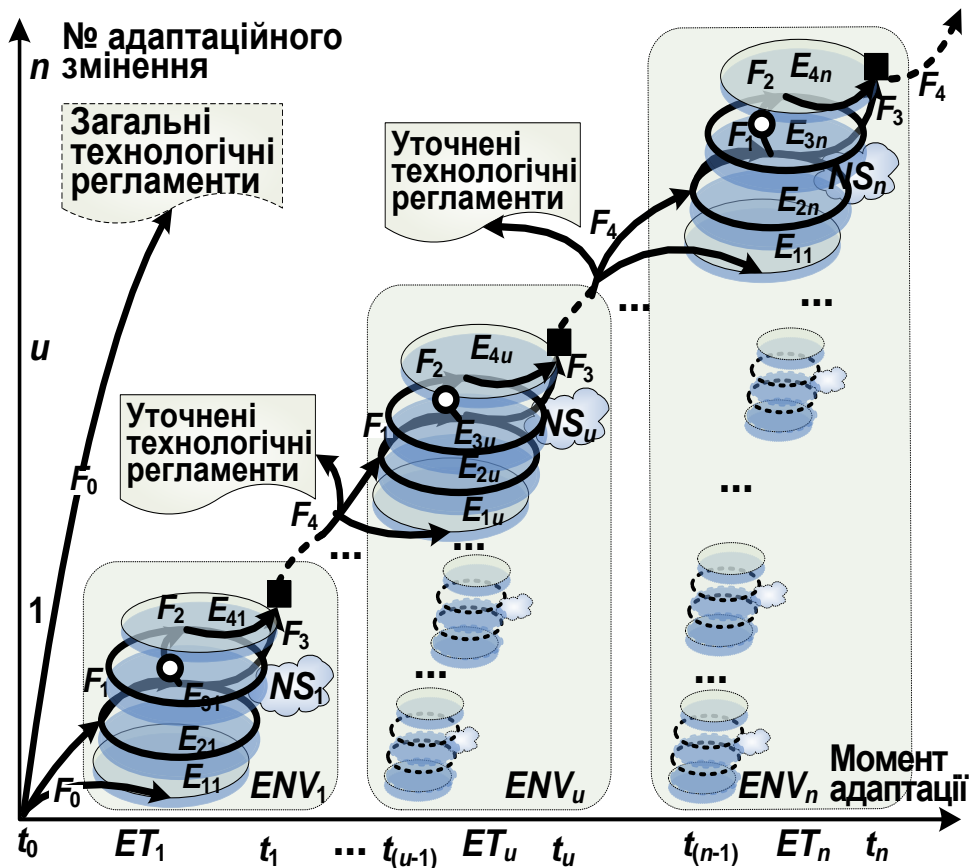


Рис. 2. Внутрішня структура й середовище уніфікованого процесу композиції АКС

**Формалізація технологічної моделі АКС.** Як показано на рис. 2, операції функцій керування варіабельністю  $F_0 - F_4$  поділяють етап  $ET_u$  на чотири під-етапи:

1) встановлення/актуалізація технологічних регламентів, зокрема періодичності й параметрів діагностичного моніторингу задовільності варіабельності АКС ( $MR_u$ ) та умов її задовільності ( $SC_u$ ) для етапу  $ET_u$ , низки наступних етапів, процесу в цілому (під-етап підтриманий функцією  $F_0$  для  $u = 1$ ,  $F_4$  для  $u > 1$ );

2) визначення/актуалізація складу математичного апарату (постановок задач  $PS_u$ , методів їх розв'язання  $MT_u$ , відстежуваних метрик  $ME_u$ ) і засобів  $T_u(fe)$ ,  $T_u(sc)$ ,  $T_u(vm)$  надання технічних сервісів  $fe$ ,  $sc$ ,  $vm$  з (3) та вибір методу композиції Веб-сервісів  $\kappa_u$  для етапу  $ET_u$  (під-етап підтриманий функцією  $F_0$  для  $u = 1$ ,  $F_4$  для  $u > 1$ );

3) узгоджене визначення/адаптування моделі  $FM_u$  обов'язкових і змінюваних функцій АКС для суб'єктів підтримуваних ділових процесів у цільовій Про, передбачених на поточному етапі, інтегрованої моделі варіабельності  $VM_u$  і платформи АКС  $AP_u$  для реалізації функцій у процесі конструювання домену для етапу  $ET_u$  (змінення  $FM_u$  підтримано функцією  $F_0$  для  $u = 1$ ,  $F_4$  для  $u > 1$ , а змінення  $AP_u - F_1$ );

4) надання функцій з  $FM_u$  передбаченим споживачам за допомогою створених ЦС і підтримка непередбаченого змінення й зовнішнього компонування ЦС поза межами АКС третіми особами до моменту порушення умов задовільності варіабельності  $SC_u$  (під-етап підтриманий функціями  $F_2$ ,  $F_3$ ).

Операції композиції окремих ЦС і діагностичного моніторингу задовільності варіабельності АКС на цьому під-етапі співвідносяться між собою згідно з регла-

ментом моніторингу  $MR_u$  (на рис. 2 показано типову ситуацію, коли спочатку створено всі ЦС для надання функцій з  $FM_u$ , а потім відстежується задовільність їх варіабельності для споживачів). Поряд з діагностуванням потреби в узгодженому адаптаційному змінненні моделей функцій і платформи (позначеному на рис. 2 чорним квадратиком), операції композиції ЦС забезпечують також діагностування поточної недоступності або незадовільної якості (QoS) певних атомарних сервісів  $aw \in AP_u$  та дії з її опрацювання, названі *адаптаційним налаштуванням* (показані на рис. 2 білими кружечками). На відміну від адаптаційного зміннення, це налаштування виконується у процесі конструювання за стосунків, залишаючи незмінним поточний опис  $aw$  (у процесі конструювання домену).

Схарактеризовані вище продукти розглянутих під-етапів етапу  $ET_u$ , крім першого, утворюють чотири відносно автономні впорядковані шари  $E_{1u} - E_{4u}$ .

Як показано на рис. 2, разом з результатами непередбачених змінень (за допомогою відповідних операцій [11]) і зовнішньої композиції ЦС на третьому етапі ( $NS_u$ ), вони складають актуальний («верхній») фрагмент інформаційного середовища етапу  $ET_u$  (позначений чотирма великими шарами на рис. 2), де другий і третій шари утворюють актуальний для  $ET_u$  фрагмент АКС (5) і тому виділені на рис. 2 жирним контуром.

У залежності від поточної стратегії використання артефактів поточного етапу на подальших етапах ( $\sigma_u$ ), ці фрагменти повністю або частково впорядковано накопичуються, утворюючи «нижні» шари їх інформаційного середовища (позначені на рис. 2 маленькими «циліндрами»).

Отриману структуру фіксує

*Визначення 2.* У певний момент  $t \in (t_{(u-1)}; t_u]$  після останнього й до наступного адаптаційного змінення АКС (1) інформаційне середовище етапу  $ET_u$  має вигляд

$$ENV_u(t) = (\cup_{i=1, \dots, u-1} \sigma_u(AE_i)) \cup \cup AE_u \cup NS_u; \quad (6)$$

$$AE_u = \cup_{i=1, \dots, 4} E_{iu};$$

$$E_{1u} = PS_u \cup MT_u \cup ME_u \cup \cup \{t_u(fe), t_u(sc), t_u(vm)\};$$

$$E_{2u} = \{FM_u; VM_u; AP_u\};$$

$$E_{3u} = E_{3u}(t) = \{SM_u; TS(t); ES(t)\};$$

де  $\sigma_u(AE_i)$  – результат застосування стратегії  $\sigma_u$  до  $AE_i$ ;

$E_{4u}$  – ретроспектива етапу в складі прийнятих стратегій і регламентів, протоколів операцій композиції ЦС, адаптаційного налаштування, профілів застосовності функцій, ЦС, термінальних композитних й атомарних сервісів і протоколів моніторингу (що містять профілі варіабельності [31, 32] згідно з її діагностичною моделлю [11] і рекомендації щодо вдосконалення або адаптаційного змінення).

У свою чергу, внутрішню структуру моделі довільного етапу динамічної композиції АКС надає

*Визначення 3.* Модель певного  $n$ -го етапу динамічної композиції АКС – це четвірка моделей його під-етапів для реалізації функцій керування варіабельністю:

$$SM_n = \begin{cases} \langle SSM_{in}, j = 0,1,2,3 \rangle, & n = 1; \\ \langle SSM_{in}, j = 4,1,2,3 \rangle, & n > 1, \end{cases} \quad (7)$$

$$SSM_{in} = \langle G_i(STR_{in}, CR_{in}, RG_{in}) \rangle;$$

$$\forall o \in O_i \quad o = \langle pp, a, in, ot, c, ps, m, t \rangle,$$

де  $G_i \subseteq O_i \otimes O_i$  – граф операцій функції  $F_i$ ;

У (7) застосовано такі позначення:

$STR_{in}, CR_{in}, RG_{in}$  – відповідно,

множини стратегій, критеріїв оптимальності й регламентів для цих операцій, задані на першому під-етапі;

операція  $o$  визначена ролями виконавців ( $a \subseteq AG$ ), входами, результатами й контекстом ( $in, out, c \subseteq ENV_u(t)$ ), формальними постановками ( $ps \subseteq PS$ ) і методами ( $mt \subseteq MT$ ) розв'язання необхідних задач, застосовними засобами автоматизації ( $t \subseteq T(fe) \cup T(sc) \cup T(vm) \cup T(MT)$ ).

$AG$  – множина ролей суб'єктів процесу (архітектор АКС, представник організації-постачальника, передбачений споживач, підписувач (tenant), брокер, член групи якості організації-постачальника й організації-споживача, третя особа ПрО);

$PS$  – множина постановок задач, розв'язуваних в операціях процесу (виявлення оптимальних структур на графах, задач про ранець і про призначення; ідентифікації структури багатовимірних даних; експертно-аналітичного оцінювання з використанням дерева цінності, аналітичної ієрархії, мережі Байєса як моделі переваг);

$MT$  – перспективні методи розв'язання задач за їх постановками з  $PS$ .

$T(fe), T(sc), T(vm), T(MT)$  – перспективні інструментальні засоби надання, відповідно, сервісів редагування моделі функцій (наприклад, FeatureIDE<sup>2</sup>), динамічної композиції (наприклад, iServe + ComposIT [13]), експертно-аналітичного оцінювання (наприклад, програмний комплекс «Діагностична експертиза» [33]) та реалізації методів  $MT$  (наприклад, МАТЛАБ).

Обов'язковими елементами – «ядрами» відповідних множин  $STR_{in}, CR_{in}, RG_{in}$  у виразі (7) є:

– стратегії: поповнення/переструктурування моделі функцій  $FM_u$ , збереження елементів актуального середовища  $AE_n$  для повторного використання, виконання адаптаційного налаштування; композиції ЦС для передбачених функцій і публікування ЦС в реєстрах Інтернет; використання даних діагностичного моніторингу варіабельності;

<sup>2</sup> <https://github.com/FeatureIDE/FeatureIDE/wiki/Tutorial>

– критерії: оптимальності складу й структури композитного сервісу; задовільної використовності функції, ЦС, сервісу платформи, визначення сервісів-клонів;

– регламенти: умови задовільності варіабельності АКС, порушення яких ініціює адаптаційне змінення, регламенти початку й завершення операцій, регламенти виконання й звітності операцій діагностичного моніторингу.

Нарешті, поєднання визначень 2 і 3 дозволяє формально описати розглянуту вище (і показано на рис. 2) технологічну модель за допомогою

*Визначення 4.* Технологічна модель уніфікованого процесу динамічної композиції АКС (1) у деякий момент  $t \in (t_{(u-1)}; t_u]$ ,  $n > 0$  після останнього й до наступного адаптаційного змінення – це четвірка

$$TM(t) = \langle AG, MA, ENV_n(t), SM_n, IT \rangle, \quad (8)$$

$$MA = PS \cup MT,$$

$$IT = T(fe) \cup T(sc) \cup T(vm) \cup T(MT),$$

де збережено позначення з визначень 2 і 3.

Надана структура моделей етапу процесу динамічної композиції  $SM_n$  (7) і його середовища  $ENV_n(t)$  (6) забезпечують дотримання для запропонованої підсумкової моделі (8) раціональних вимог до операцій процесу, прийнятих для моделей – її попередників [31, 32]:

– обґрунтованості – надання підстав прийняття рішень щодо функцій;

– узгодженості способів вироблення й реалізації цих рішень на п'яти рівнях АКС [1, 2] і на всіх етапах його композиції;

– масштабності – незалежності способу вироблення й реалізації зазначених рішень від обсягу функційних можливостей і призначення АКС;

– трасовності – можливості простеження зв'язків між проявами варіабельності різних типів [27] на п'яти рівнях і на всіх етапах композиції АКС.

## Висновки

Надано подальший розвиток запровадженого автором підходу до ефективної автоматизованої підтримки (не)передбачено змінних розподілених ділових процесів сучасних організацій за рахунок автоматизованого відбору й компоновання виконуваних семантичних Веб-сервісів згідно з виявленими потребами суб'єктів підтримуваних процесів на етапах між їх зміненнями. Формалізовано технологічну модель процесу композиції, який надає адаптивний (здатний до змін поведінки для задоволення нових вимог і пристосування до нових (не)передбачених ситуацій) і застосовний третіми сторонами семантичний сервіс за його моделлю у руслі розвинутого підходу.

Цей сервіс модельовано динамічною лінією (композитних) сервісів надання передбачених на етапах функцій, а процес композиції – процесом керування варіабельністю такої лінії. Він поданий поповнюваною послідовністю етапів, обмежених моментами адаптаційних змінень формованого адаптивного сервісу. Етапи уніфіковано щодо методу композиції сервісів-складників на функціональному й процесному рівні.

Розроблена модель етапу подає його композицією операцій функцій керування варіабельністю адаптивного сервісу як «лінії» (формування/адаптування передбачених функцій і платформи сервісів їх реалізації, композиції сервісів надання цих функцій, діагностичного моніторингу варіабельності). Спільне інформаційне середовище операцій поєднує: банки даних постановок і методів для розв'язуваних математичних задач, застосовних метрик та описів інструментальних засобів; поточне подання адаптивного сервісу як «лінії»; ретроспективу етапу.

Розгортання запропонованого процесу динамічної композиції адаптивного семантичного Веб-сервісу в сучасних організаціях сприятиме підвищенню ефективності використання й реінжинірингу ділових процесів з різнорідними й нестабільними контекстами. Необхідна для цього інтеграція до розглянутих моделей онтологічно базованої моделі функцій та їх уточ-



нення принаймні для відомого «мінімалістського» методу компонування семантичних Веб-сервісів, семантично анотованих за допомогою дескриптивної логіки – предмет подальших досліджень автора.

## Література

- Андон П.І., Бабенко Л.П. Проблеми і можливості програмування в середовищі SEMANTIC WEB. Проблеми програмування. 2012. № 2-3. С. 363–373.
- Андон П.І., Слабоспицька О.О. Збіркове програмування компонентних і сервіс-орієнтованих прикладних програмних систем. Проблеми програмування. 2017. № 3. Р. 31–51.
- La Rosa M., Van der Aalst W.M.P., Dumas M., Milani F.P. Business Process Variability Modeling: A Survey. J.ACM Computing Surveys (CSUR). 2017. Vol. 50. Is. 1. Р. 1–51.
- 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.
- Alferez G.H., Pelechano V. Facing uncertainty in Веб service compositions. Int. J. of Services Computing. 2014. Vol. 2. N. 2. Р. 1–16.
- Alferez G., Pelechano V., Mazo R. Dynamic Adaptation of Service Compositions with Variability Models. J. of Syst. and Software. Vol. 91. 2014. P. 24–47.
- Bucchiarone A. et al. Design for Adaptation of Service-Based Applications: Main Issues and Requirements. A. Dan, F. Gittler, and F. Toumani (Eds.): ICSOC/ServiceWave 2009. LNCS 6275. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. P. 467–476.
- Zeginis C., Plexousakis D. Веб Service Adaptation: State of the art and Research Challenges. Technical Report 410. ICS-FORTH, 2010. 66 p.
- 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.
- Klusch M., Kapahnke P., Schulte S., Lecue F. et al. Semantic Web Service Search: A Brief Survey. 2015. [Electronic resource]. Mode of access: [http://www.zora.uzh.ch/id/eprint/134977/1/KI-SI\\_SemServ15.pdf](http://www.zora.uzh.ch/id/eprint/134977/1/KI-SI_SemServ15.pdf).
- Слабоспицька О.О. Рамкова модель адаптивного композитного сервісу в семантичному Веб-середовищі. Проблеми програмування. 2017. № 4. С. 51–65.
- Mohr F. Automated Software and Service Composition. A Survey and Evaluating Review. SpringerBriefs in Computer Science, 2016. 120 p.
- 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>.
- Rodriguez-Mier P., Mucientes M., Lama M. Hybrid Optimization Algorithm for Large-Scale QoS-Aware Service Composition. IEEE Trans. on Services Comp., 2015. [Electronic resource]. Mode of access: <https://arxiv.org/pdf/1509.06254.pdf>.
- Kona S., Bansal A., Blake M.B., Gupta G. Generalized semantics-based service composition. IEEE Int. Conf. on web services (ICWS), 2008. P. 219–227.
- 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.
- Pistore M., Spalazzi L., Traverso P. A Minimalist Approach to Semantic Annotations for Web Processes Compositions. Proc. 3rd European SemanticWeb Conf., ESWC 2006. Budva, Montenegro, June 11–14, 2006. P. 620–635.
- Di Pietro I., Pagliareze F., Spalazzi L. Semantic Annotation for Web Service Processes in Pervasive Computing. 2009. [Electronic resource]. Mode of access: [https://www.researchgate.net/publication/220973856\\_Semantic\\_Annotation\\_for\\_Web\\_Service\\_Processes](https://www.researchgate.net/publication/220973856_Semantic_Annotation_for_Web_Service_Processes).
- Di Pietro I., Pagliareze F., Spalazzi L. Model Checking Semantically Annotated Services. IEEE Trans. Soft. Eng. 2012. Vol. 38. N 3. P. 592–608.
- Rodriguez-Mier P., Mucientes M., Lama M., Couto M.I. Composition of web services through genetic programming. Evolutionary Intelligence. 2010. N 3(3-4). P.171–186.
- Sohrabi S., McIlraith S.A. Preference-Based Web Service Composition: A Middle Ground

- between Execution and Search. 2010. [Electronic resource]. Mode of access: <https://pdfs.semanticscholar.org/9f6a/4bb0b15cb2a5381c4d574381ab461326827e.pdf>.
22. Feng Y., Ngan L.D., Kanagasabai R. Dynamic service composition with service-dependent QoS attributes. // Proc. IEEE 20th Int. Conf. on web services (ICWS). – 2013. – P. 10–17.
23. Immonen A., Pakkala D. A survey of methods and approaches for reliable dynamic service compositions. Serv Oriented Comput Appl. 2014. N 8(2). P. 129–158.
24. 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.
25. Kazhamiakin R., Marconi A., Pistore M. Data-Flow Requirements for Dynamic Service Composition. Proc. IEEE 20th International Conference on Beб Services. 2013. P. 243–250.
26. Kapuruge M., Han J., Colman A. Service orchestration as organization: Building multi-tenant service applications in the Cloud. 2014. 363 p.
27. Nguyen T., Colman A., Han J. Comprehensive Variability Modeling and Management for Customizable Process-Based Service Compositions. In: Bouguettaya A. Beб Services Foundations – Springer: Science & Business Media, 2013. P. 507–534.
28. Staikopoulos A., Cliffe O., Popescu R., Padget J., Clarke S. Template-Based Adaptation of Semantic Web Services with Model-Driven Engineering. IEEE Trans. on Services Computing. 2010. Vol. 3. Is. 2. P. 116–130.
29. 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.
30. ISO/IEC 26550:2015 Software and systems engineering. Reference model for product line engineering and management. Ed. 2. 2015. 35 p.
31. Слабоспицька О.О. Технологічна модель процесу автоматизованого виробництва сімейств програмних систем. *Проблеми програмування*. 2011. № 1. С. 39–48.
32. Слабоспицька О.О. Технологічна модель процесу побудови та використання адаптивної композиції Веб-сервісів. *Проблеми програмування*. 2015. № 2. С. 52–62.
33. Комп'ютерна програма “Програмний комплекс формування та інтелектуального узагальнення багатокритеріальних експертних оцінок”. Настанова користувача. – Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 31357 від 14.12.2009. Київ: Державний департамент інтелектуальної власності МОНУ.

## 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. Andon P.I. Assembly Programming Component and Service-Oriented Applied Software Systems / P.I. Andon, O.O. Slabospitska // Problems of Programming. – 2017. – N 3. – P. 31–51. (In Ukrainian).
3. La Rosa M. Business Process Variability Modeling: A Survey / M.La Rosa, W.M.P. Van der Aalst, M.Dumas, F.P.Milani // J.ACM Computing Surveys (CSUR). – 2017. – V. 50. – Is. 1. – P. 1–51.
4. 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
5. Alférez G.H. Facing uncertainty in Beб service compositions. / G.H.Alférez, V.Pelechano // Int. J. of Services Computing – 2014. – V.2. – N. 2. – P. 1–16.
6. 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.
7. Bucchiarone A. et al. Design for Adaptation of Service-Based Applications: Main Issues and Requirements // A. Dan, F. Gittler, and F. Toumani (Eds.): ICSOC/ServiceWave 2009. – LNCS 6275. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – P. 467–476.
8. Zeginis C. Beб Service Adaptation: State of the art and Research Challenges. Technical Report 410 / C.Zeginis, D.Plexousakis – ICS-FORTH, 2010. – 66 p.
9. Moghaddam M. Service Selection in Web Service Composition: A Comparative Review of Existing Approaches / M. Moghaddam, J. Davis // In: Bouguettaya A. Beб Services

- Foundations – Springer: Science & Business Media, 2013. – P. 321–346.
10. Klusch M. Semantic Web Service Search: A Brief Survey / M.Klusch, P.Kapahnke, S.Schulte, F.Lecue et al. – 2015. 2015. [Electronic resource]. Mode of access: [http://www.zora.uzh.ch/id/eprint/134977/1/KI-SI\\_SemServ15.pdf](http://www.zora.uzh.ch/id/eprint/134977/1/KI-SI_SemServ15.pdf).
  11. Slabospitska O.O. Reference model for Semantic Web Adaptive Composite Service / O.O.Slabospitska // Problems of Programming. – 2017. – N 4. – P. 51–65. (In Ukrainian).
  12. Mohr F. Automated Software and Service Composition. A Survey and Evaluating Review / F.Mohr – SpringerBriefs in Computer Science, 2016. – 120 p.
  13. 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>.
  14. Rodríguez-Mier P. Hybrid Optimization Algorithm for Large-Scale QoS-Aware Service Composition / P.Rodríguez-Mier, M.Mucientes, M.Lama // IEEE Trans. on Services Comp., 2015. [Electronic resource]. Mode of access: <https://arxiv.org/pdf/1509.06254.pdf>.
  15. Kona S. Generalized semantics-based service composition. / S.Kona, A.Bansal, M.B.Blake, G.Gupta // IEEE Int. Conf. on web services (ICWS), 2008. – P. 219–227.
  16. 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.
  17. Pistore M. A Minimalist Approach to Semantic Annotations for Web Processes Compositions / M.Pistore, L.Spalazzi, P.Traverso – Proc. 3rd European SemanticWeb Conf., ESWC 2006. – Budva, Montenegro, June 11-14, 2006. – P. 620–635
  18. Di Pietro I. Semantic Annotation for Web Service Processes in Pervasive Computing / I.Di Pietro, F.Pagliareze, L.Spalazzi – 2009. [Electronic resource]. Mode of access: [https://www.researchgate.net/publication/220973856\\_Semantic\\_Annotation\\_for\\_Web\\_Service\\_Processes](https://www.researchgate.net/publication/220973856_Semantic_Annotation_for_Web_Service_Processes).
  19. Di Pietro I. Model Checking Semantically Annotated Services / I.Di Pietro, F.Pagliareze, L.Spalazzi // IEEE Trans. Soft. Eng. – 2012 – V.38. – N3. – P. 592–608.
  20. Rodriguez-Mier P. Composition of web services through genetic programming / M.Mucientes, M.Lama, M.I.Couto // Evolutionary Intelligence. – 2010. – N 3(3-4). – P.171–186.
  21. Sohrabi S. Preference-Based Web Service Composition: A Middle Ground between Execution and Search. / S.Sohrabi, S.A.McIlraith, 2010. [Electronic resource]. Mode of access: <https://pdfs.semanticscholar.org/9f6a/4bb0b15cb2a5381c4d574381ab461326827e.pdf>.
  22. Feng Y. Dynamic service composition with service-dependent QoS attributes. Y.Feng, L.D.Ngan, R.Kanagasabai // Proc. IEEE 20th Int. Conf. on web services (ICWS). – 2013. – P. 10–17.
  23. Immonen A. A survey of methods and approaches for reliable dynamic service compositions. / A.Immonen, D.Pakkala // Serv Oriented Comput Appl. – 2014 – N 8(2) – P. 129–158.
  24. 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.
  25. Kazhamiakin R. et al. Data-Flow Requirements for Dynamic Service Composition / R.Kazhamiakin, A.Marconi, M.Pistore // Proc. IEEE 20th International Conference on Beб Services – 2013. – P. 243–250.
  26. 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.
  27. Nguyen T. Comprehensive Variability Modeling and Management for Customizable Process-Based Service Compositions / T.Nguyen, A.Colman, J.Han // In: Bouguettaya A. Beб Services Foundations – Springer: Science & Business Media, 2013. – P. 507–534
  28. Staikopoulos A. Template-Based Adaptation of Semantic Web Services with Model-Driven Engineering / Staikopoulos A., O.Cliffe, R.Popescu, J.Padget, S.Clarke // IEEE Trans. on Services Computing. – 2010. – V.3. – Is.2. – P.116-130.
  29. 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.

30. ISO/IEC 26550:2015 Software and systems engineering. Reference model for product line engineering and management. Ed. 2. – 2015. – 35 p.
31. Slabospickaya O.O. Technological Model for Software Family Automated Production Process / O.O.Slabospickaya // Технологічна модель процесу автоматизованого виробництва сімейств програмних систем / О.О. Слабоспицька // Problems in Programming – 2011. – N 1. – С. 39-48. (in Ukrainian).
32. Slabospitska O.O. Technological Model for the Process of Adaptive Web Service Composition Engineering and Use / O.O.Slabospitska // Problems in Programming – 2015. – N 2. – P. 52–62. (in Ukrainian).
33. Computer program «Program complex for multi-criteria expert estimates creating and smart integrating». User's guide. – A certificate for author's copyright state registration N 31357 at 14.12.2009. – Kiev: MESU State department for intellectual property.

***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](mailto:olsips2017@gmail.com)

Одержано 15.01.2018