

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ ПРИ СТВОРЕННІ СІМЕЙСТВ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

Розглянуто особливості процесів керування в інженерії сімейств програмних систем (СПС), зокрема, нові функції процесу керування конфігурацією, який інтегрований з базовим процесом розроблення (БПР) готових ресурсів та БПР ПС і узгоджує їх виконання. Запропоновано формалізацію СПС і БПР СПС із залученням формалізму сімейства процесів та надано методологічне ядро математичного апарата його підтримки.

### Вступ

На сучасному етапі розвитку індустрії програмного забезпечення дієвим засобом забезпечення конкурентоспроможності організацій-розробників програмних систем (ПС), що спеціалізуються на автоматизації різних проблемних областей (Про), є побудова ПС у новій парадигмі генерувального програмування (ГП) [1, 2]. Головним цільовим об'єктом розроблення у цій парадигмі є не унікальна ПС, а сімейство ПС (СПС) у певній Про, кожний член якого не створюється "з нуля", а генерується на основі загальної моделі сімейства шляхом її конкретизації відповідно до специфікації ПС. Нова ПС для Про утворюється множиною активів, які є результатом постійного накопичення та узагальнення напрацювань у Про. Вони зберігаються та опрацьовуються в інтегрованому середовищі розроблення (ІДЕ, від Integrated Development Environment) СПС і складають готові інформаційні ресурси (ГОР), які вибираються, адаптуються та несуперечливо поєднуються у композиції в ході розроблення ПС.

На відміну від організацій, які розробляють одиничні ПС, організація-розробник СПС та окремих ПС на їх основі оперує трьома видами об'єктів – ГОР, СПС, ПС, – які мають власні, відмінні від інших, моделі життєвого циклу (ЖЦ) та методології розроблення. Процеси їх ЖЦ виконуються паралельно і потребують узгодженого керування.

Організація-розробник може створювати одночасно декілька СПС, заснова-

них на спільній множині ГОР, мати одночасно декілька замовників різних ПС на базі відповідних СПС, а також накопичувати нові ГОР не лише для замовлених ПС, але й з урахуванням еволюції Про, технологій та потреб ринку програмної продукції у ній. У такій організації задачі керування на рівні окремих проектів і на рівні організації у цілому значно складніші, ніж у тій, що розробляє одиничні ПС, оскільки виконання проектів потребує не лише ефективного розподілу ресурсів за проектами, але й координації дій зі створення, використання та еволюції ГОР – активів Про.

Побудова інформаційно-технологічного середовища синхронізованого виконання проектів СПС, яке доповнює ІДЕ СПС, є актуальною проблемою інженерії якості СПС [2]. Її вирішення потребує розв'язання, перш за все, задач ідентифікації множини, структури і взаємозв'язку артефактів проектів, які набуватимуть статусу ГОР в репозитарії ІДЕ, а також визначення процесів керування, від ефективного виконання яких залежить успіх проекту СПС.

У роботі розглядаються особливості процесів, виконуваних у проектах СПС, зокрема, процесів організаційного та технічного керування, серед яких виділено процес керування конфігурацією, на який покладено нові функції. Запропоновано формалізацію процесу розроблення СПС, надано методологічне ядро математичного апарата його підтримки та визначено першочергові задачі створення такого математичного апарата.

## Аспекти методологічної підтримки проектів СПС

Методологічна підтримка проекту СПС полягає у визначенні моделей і окремих процесів ЖЦ ГОР, ПС та СПС, ролей агентів цих процесів і їх взаємодії, взаємозв'язку процесів ЖЦ при виконанні проекту, складу і структури відповідних інформаційних об'єктів репозитарія IDE з метою накопичення і використання досвіду виконання проектів та вдосконалення процесів розроблення СПС.

Основними видами об'єктів, які мають власні моделі ЖЦ при їх розробленні у парадигмі ГП, є такі:

- готові ресурси повторного використання, які є активами, напрацьованими або придбаними «в інтересах» одного СПС або множини створюваних СПС (моделі ЖЦ МЖЦ<sub>ГОР</sub>),

- сімейство ПС як множина взаємопов'язаних ГОР (модель ЖЦ МЖЦ<sub>СПС</sub>),

- програмна система, яка розробляється на базі СПС (модель ЖЦ МЖЦ<sub>ПС</sub>).

Розрізняються дві категорії ГОР – програмні (модулі, компоненти, аспекти тощо) і не програмні (моделі, текстові документи тощо).

Спільним для ГОР будь-якої категорії є наявність:

- постійної невід'ємної складової (ядра ГОР), прийнятого для всіх ПС у сімействі,

- змінюваних складових (розширень ядра),

- точок варіантності, в яких ядро ГОР може доповнюватися розширеннями і в результаті утворювати варіант ГОР, прийнятний для конкретної ПС,

- мікропроцесу, який визначає обмеження щодо варіантів ГОР, умови та механізми розширень ядра, взаємозалежність та взаємозв'язки з іншими ГОР, а також детальний опис дій з адаптації ГОР.

Моделі ЖЦ відбивають взаємозв'язок основних стадій ЖЦ об'єктів [3].

Структура моделей МЖЦ<sub>ГОР</sub> визначається категорією ГОР та складом дій мікропроцесу (наприклад, мікропроцес для програмного ГОР включатиме крок тестування, а для не програмного – крок колегіальної перевірки).

Структура МЖЦ<sub>СПС</sub> визначається типом генеративної моделі СПС [4]. Ці типи (конфігураційний або трансформаційний) відрізняються підходом до відображення між абстракціями, притаманними Про (простором проблеми) і абстракціями інформаційно-програмного змісту, придатними для побудови реалізацій специфікацій ПС (простором рішень).

Структура МЖЦ<sub>ПС</sub> визначається класом базової моделі ЖЦ, на якій вона засновується (каскадна, ітераційна тощо) [3], а також прийнятою стратегією побудови і функціонування СПС [5].

Стратегія може бути проактивною (заснованою на попередньому виробництві множини ГОР і наступному розробленні ПС з їх використанням), реактивною (заснованою на попередньому розробленні множини ПС з наступним аналізом і вибором компонентів ПС для виробництва ГОР) або змішаною. Фактично стратегія визначає порядок взаємодії двох базових процесів розроблення (БПР), які впроваджує організація-розробник СПС і які мають відмінні моделі. Це:

- базовий процес колективного розроблення готових ресурсів (БПР ГОР) (модель МБПР<sub>ГОР</sub>),

- базовий процес розроблення окремих програмних систем (БПР ПС) з ГОР (модель МБПР<sub>ПС</sub>).

Кожний з цих процесів є складеним, тобто таким, що включає низку процесів ЖЦ (представлених профілями процесів [3]) відповідно до виду об'єктів, їх моделей ЖЦ та стратегії виробництва об'єктів даного виду.

Процеси виконуються паралельно, взаємодіють через дані (робочі продукти цих процесів у репозитарії IDE), якими вони можуть опосередковано обмінюватися в узгоджений спосіб (рис. 1).

Відмітна особливість МБПР<sub>ГОР</sub> – наявність у структурі моделі дій щодо транслювання несуперечливості варіантів різних ГОР (наприклад, концептуальна модель Про → архітектура → компоненти).

Відмітна особливість МБПР<sub>ПС</sub> – наявність точок аналізу варіантів і прийняття рішень щодо вибору оптимального варіанта ГОР.

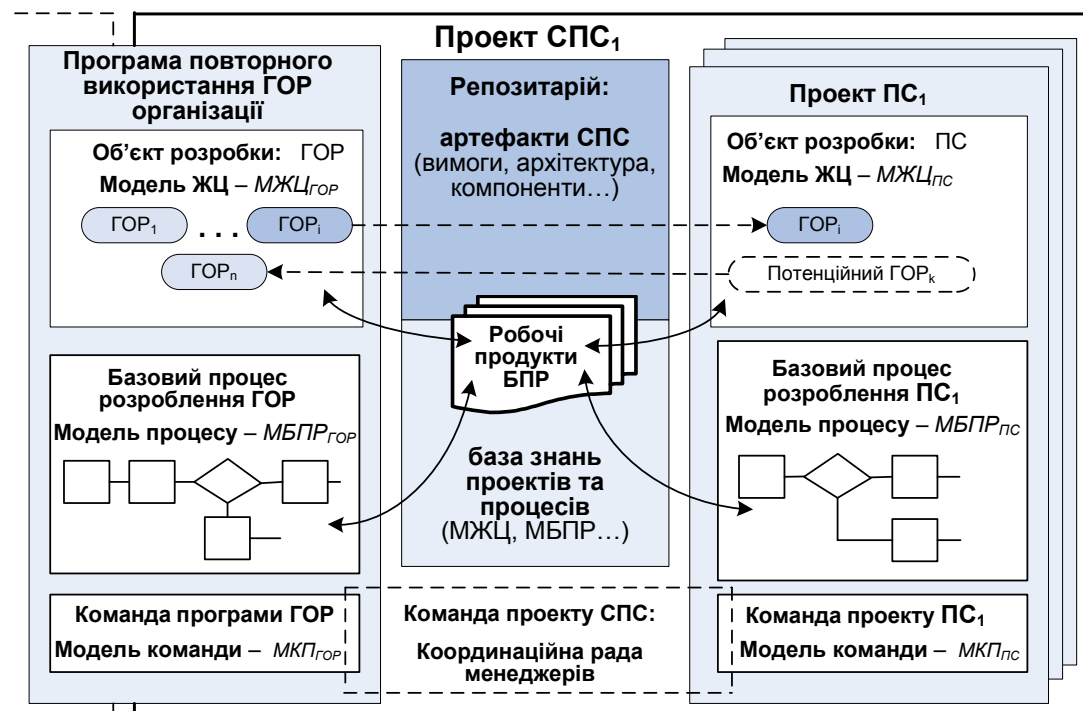


Рис. 1. Взаємозв'язок проектів при розробленні ПС як членів СПС

Розроблення ГОР виконується в рамках програми (або проекту) повторного використання ГОР організації (далі програми ГОР) відповідною окремою командою (модель команди МКП<sub>ГОР</sub>). Програма охоплює множину мікро-проектів з розроблення (придбання) окремих ГОР та забезпечення несуперечливості їх інтерфейсів.

Розроблення кожної ПС на базі відповідної СПС виконується в рамках проекту ПС також окремою командою проекту (модель команди МКП<sub>ПС</sub>).

Розроблення кожного СПС здійснюється, в загальному випадку (якщо організація розробляє декілька СПС на базі спільної множини ГОР [6]), в рамках окремого проекту СПС командою, яка включає менеджерів СПС, окремих проектів ПС та програми ГОР (рис. 1). Згаданий менеджмент утворює координаційну раду з розроблення СПС.

Очевидно, що керування програмою ГОР, проектами СПС та ПС ускладнюється.

### Основні напрями керування у контексті СПС

Задачі керування в організаціях-розробниках СПС, зокрема, керування проектами, ризиками, конфігурацією, ви-

рішенням проблем тощо, за змістом відрізняються від визначених для відповідних процесів ЖЦ в ISO/IEC 12207, є складнішими з огляду на різноманітність, множинність, взаємопов'язаність основних об'єктів (ГОР, СПС та ПС) і проектів з їх розроблення та потребують узгодження дій.

У роботі [5] запропоновано виділяти два рівні керування у проектах СПС – організаційне керування та технічне керування, і визначено 20 напрямів діяльності, розподілених за цими рівнями. Вони схематично показані на рис. 2 в еліптичних контурах і стисло схарактеризовані далі.

Організаційне керування включає такі напрями діяльності:

- організація діяльності зі створення СПС як нового бізнесу (формування бізнес-плану, економічне моделювання та обґрунтування витрат та створення СПС);
- керування взаємодією із замовниками та інвесторами;
- вироблення договірної стратегії щодо придбання ГОР та користування послугами інших організацій;
- фінансове забезпечення;
- запуск та інституціалізація бізнесу (впровадження змін у діяльність організації з метою створення СПС та ПС);

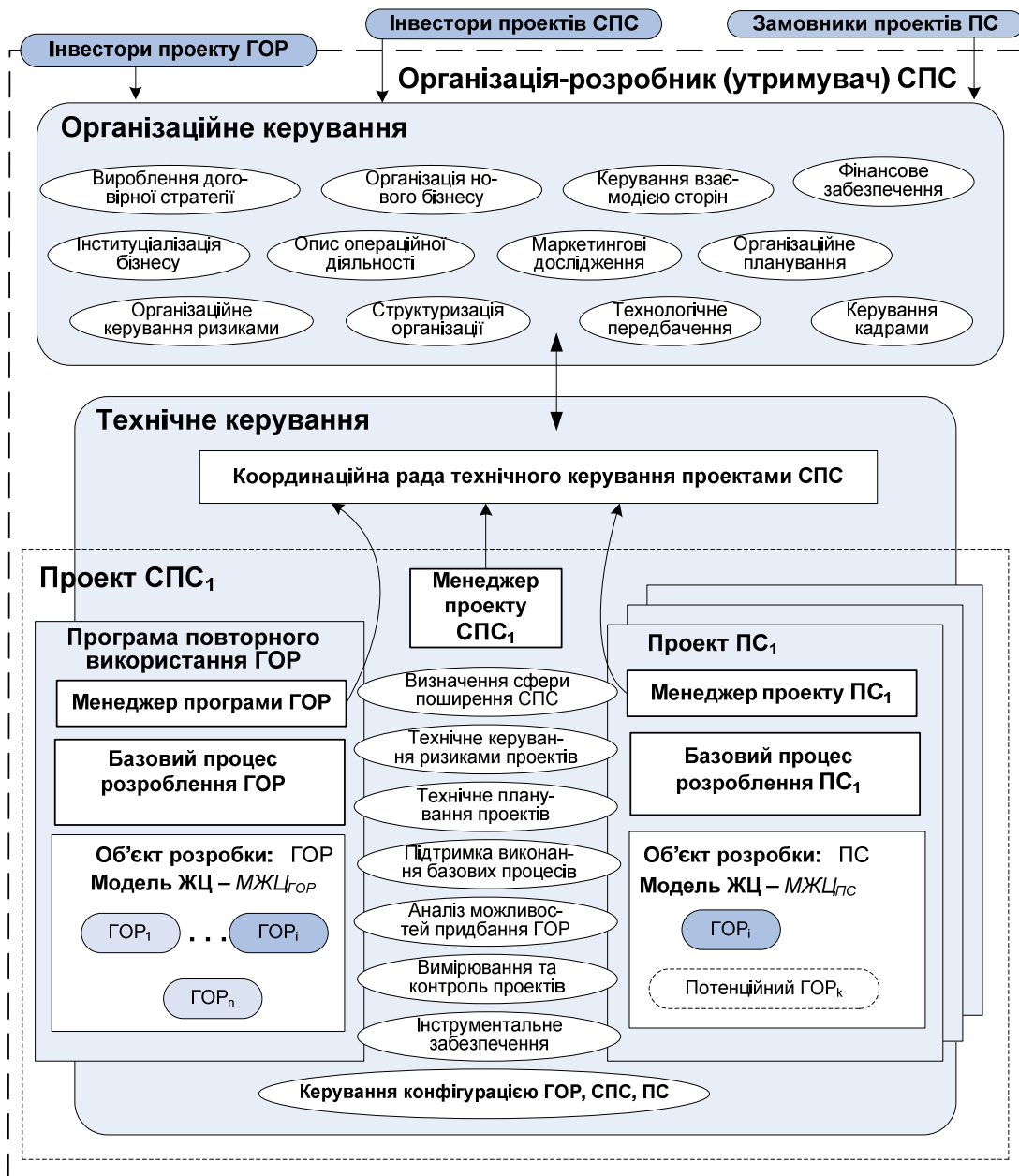


Рис. 2. Дворівневе керування проектами у контексті СПС

- опис операційної діяльності організації (зміст проектів, базових процесів, принципів організації роботи тощо);
  - маркетингові дослідження (аналіз попиту, ринків збуту тощо);
  - організаційне планування;
  - організаційне керування ризиками;
  - структуризація організації згідно з цілями розроблення ПС на базі СПС;
  - технологічне передбачення підтримка технологічної еволюції СПС);
  - підготовка кадрів.
- До цих напрямів діяльності слід

долучити ведення бази знань за проектами організації як засіб накопичення та передачі досвіду їх виконання, а також прийняття обґрунтованих рішень щодо розподілу ресурсів, доцільності розширення сфери СПС тощо.

Процеси організаційного керування взаємодіють з процесами технічного керування.

Головне завдання технічного керування – вироблення рішень щодо ефективних методів виробництва і формування виробничого плану щодо об’єктів відповідних БПР у проектах ГОР, СПС та ПС.

До технічного керування долучається менеджмент програми ГОР та проектів кожної ПС, а також менеджмент проекту СПС, який відповідає за ефективність рішень для досягнення стратегічних цілей побудови СПС та дотримання виробничих обмежень щодо СПС, за раціональність розподілу ресурсів між програмою ГОР та проектами ПС. Менеджмент програми ГОР опікується якістю ГОР, їх корисністю для СПС та ефективністю колективної роботи команди програми ГОР, а менеджмент проектів окремих ПС – якістю та ефективністю роботи команд цих проектів.

Сфера технічного керування охоплює такі напрями діяльності (рис. 2):

- визначення сфери застосування СПС, а саме: меж охоплення Про множиною ПС, контексту застосування ПС, найсуттєвіших вимог до ПС, обмежень та поведінкових аспектів, що вирізняють множини ПС з поміж інших систем у Про, головних спільних рис для всіх ПС та відмінностей, а також критеріїв приймання кінцевих розроблених ПС як членів СПС;

- технічне керування ризиками, яке є безперервним процесом, виконуваним на рівні окремих проектів (ГОР, ПС, СПС). Оскільки у сімействах ПС ризики можуть стосуватися більш ніж одного продукту, бути взаємопов'язаними, а їх наслідки – більш глобальними, плани керування ризиками створення об'єктів у СПС мають координуватися. Це, в свою чергу, потребує тіснішої взаємодії команд проектів у питаннях виявлення і спостереження ризиків;

- технічне планування проекту в парадигмі ГП є ітеративним і безперервним процесом, який координується з плануванням вимірювань, оцінювань, гарантування якості, керування ризиками тощо. Планування виконання програми ГОР пов'язується, крім того, з робочим плануванням стосовно кожного ГОР, а планування проекту СПС – з загальним плануванням виробництва ПС з ГОР. План виробництва спирається на операційне визначення процесу виробництва ПС (у моделі МБПР<sub>ПС</sub>) як членів СПС і додає до нього технічні деталі стосовно ресурсів процесу та планових показників для контролю виконання

плану і вдосконалення виробничого процесу. При конкретизації виробничого плану кроки процесу уточнюються до рівня супутніх мікропроцесів відповідних ГОР;

- підтримка виконання базового процесу спрямована на визначення, дотримання і вдосконалення БПР відповідно до моделі процесу МБПР<sub>ПС</sub> (наприклад, [7]). Забезпечує формулювання операційного визначення процесу, складеного з дій, пов'язаних алгоритмом їх виконання, та формування профілю базового процесу. Специфікою БПР є те, що в нього після кожної дії стосовно вибору ГОР для використання у ПС інкорпорується супутній мікропроцес, що за кроками визначає, яким чином налаштувати ГОР у точці варіантності для застосування в процесі розроблення даної ПС;

- аналіз можливостей придбання ГОР стосується як програмних, так і не програмних ГОР, які можуть бути розроблені в рамках БПР ГОР організації-розробника СПС, закуплені на ринку як комерційні COTS продукти (безпосередньо або через отримання ліцензійних прав на використання («open source» компоненти або Web-сервіси)), замовлені через відкриття проектів на розроблення спеціалізованих ГОР для СПС або виявлені (видобуті) в раніше створених ПС організацією-розробником;

- вимірювання та контроль проекту. Вимірювання виконується на рівні кожного проекту, а оцінювання – як на рівні окремих проектів, так і на рівні проекту СПС. Результати, отримані на рівні проектів ГОР і ПС, використовуються для контролю досягнення вимірних цілей за цими проектами щодо якості (наприклад, зменшення рівня дефектів в артефактах до певного рівня), ефективності роботи команд проектів (наприклад, зростання продуктивності праці до певного рівня), а на рівні СПС – для приймання узгоджених рішень з керування окремими проектами в світлі стратегічних цілей побудови СПС. Досягнення цілей проектів ГОР, ПС та СПС є взаємопов'язаними подіями, а відповідні метрики, спроектовані для контролю досягнення цілей, комплексними (наприклад, корисність ГОР для ПС, кількість

дефектів у ГОР, виявлених при застосуванні ГОР у різних ПС, кількість часу на пошук, адаптацію та інтеграцію ГОР у різних ПС [8]);

– інструментальне забезпечення. Інструменти IDE мають підтримувати паралельне створення, супроводження і використання множини версій артефактів СПС та координацію одночасної роботи команд програми ГОР і проектів ПС, які спільно використовують ГОР;

– керування конфігурацією СПС, яке займає центральне місце серед множини задач технічного керування у проектах СПС і тому далі розглядається детальніше.

### **Керування конфігурацією та варіабельність СПС**

Наразі два аспекти керування конфігурацією (КК) – керування версіями однієї ПС у часі (історичний аспект) і керування версіями паралельно створюваних частин ПС, періодично об'єднаних в одну версію (аспект кооперативної розробки) – отримали належну методичну та інструментальну підтримку (наприклад, Clear-Case, CVS) [9]. Третій аспект КК – керування одночасно існуючими варіантами окремих робочих продуктів (РП) ПС, які відбивають їх логічну варіантність (наприклад, варіанти коду для різних платформ) – розглядається, як правило, лише з позицій пошуку «обхідних шляхів» для застосування існуючих інструментів КК (наприклад, ведення версій кількох копій ПС для різних платформ, використання умовної компіляції коду тощо).

Проте саме аспект конфігурування множини варіантів є актуальним в інженерії сімейств систем, оскільки варіанти кожного ГОР відповідають контекстам його використання у різних ПС і мають знаходитися під контролем конфігурації одночасно. Та й сама ПС, що є членом СПС, розглядається як його варіант.

Властивість СПС, обумовлена її здатністю до розширювання, змінювання, налаштування або конфігурування з метою використання у визначеному контексті, називається варіабельністю СПС.

Забезпечення варіабельності СПС і конфігурування ПС як членів СПС визначаються у [9] як дві ключові концепції інженерії сімейств ПС.

Метою забезпечення варіабельності СПС є врахування нових вимог до ПС у сімействі через його поповнення новими варіантами ГОР. Варіабельність забезпечується наявністю механізмів ідентифікації та специфікації загальних і відмітних рис на всіх рівнях подання СПС – характеристик ПрО (її ділової логіки), архітектури СПС і реалізації, а також механізмів конфігурування та трасування ГОР на різних рівнях через локалізацію несуперечливих варіантів ГОР на цих рівнях.

Задачами забезпечення варіабельності СПС є:

– моделювання конфігурабельних вимог до СПС під час аналізу ПрО. Варіант конфігурації вимог має відповідати вимогам замовника (користувача) до конкретної ПС як члена сімейства. Вимоги можуть пред'являтися до функцій ПС (функціональні вимоги) та показників якості ПС (не функціональні вимоги), елементів архітектури ПС (зокрема, до апаратно-програмної платформи, технічного оточення, стандартів архітектури), програмних компонентів ПС (зокрема, до мови, парадигми програмування) та не програмних компонентів ПС (зокрема, до складу комплекту поставки ПС замовнику);

– реалізація механізмів розширення ядра ГОР у точках варіантності. Точки варіантності на одному рівні абстракції реалізують варіабельність на більш високому рівні абстракції. Прикладами механізмів реалізації варіабельності є патерни проектування, агрегація, успадкування, параметризація, макроси, умовна компіляція, динамічно приєднані бібліотеки тощо [9]. Реалізація варіабельності здійснюється на рівні архітектури та компонентів СПС. Архітектура СПС визначає всі можливі комбінації реалізацій програмних компонентів (з урахуванням обмежень, встановлених вимогами до ПС, зокрема, до його архітектури). Архітектура ПС є варіантом архітектури СПС, позбавленим точок варіантності.

Задачами конфігурування ПС з ГОР СПС є:

- ототожнювання вимог до ПС з вимогами до СПС у моделі вимог до СПС на будь-якому рівні встановлення вимог (вимог до функцій, архітектури або компонентів);

- підтримка операцій: поповнення моделі вимог, трасування вимог до варіантів існуючих ГОР всіх рівнів, породження нових варіантів архітектури та компонентів у точках варіантності для реалізації раніше не встановлених вимог до ПС у ПрО. Ці операції мають виконуватися з урахуванням обмежень ПрО;

- підтримка прийняття ефективних рішень щодо розроблення нових варіантів ГОР через надання інформації для проведення аналізу «витрат / переваг» з урахуванням досвіду, накопиченого у базі знань проєктів СПС.

Керування варіабельністю СПС полягає у плануванні розширення ГОР новими варіантами та контролі повноти та несуперечливості варіантів ГОР для потреб СПС, а керування конфігуруванням ПС – у наданні засобів обґрунтованого вибору узгоджених варіантів ГОР при побудові ПС.

Для розв'язання поставлених задач середовище IDE має бути доповнене не лише інформаційними структурами щодо варіантів ГОР, функціями введення (вилучення) варіантів, зіставлення між собою варіантів одного ГОР («по горизонталі») та варіантів ГОР різних рівнів («по вертикалі»), але й моделями та методами, призначеними для підтримки прийняття ефективних рішень розробниками СПС і ПС щодо вибору окремих варіантів і їх композицій з урахуванням вимог до показників якості ПС, вартості тощо на кожному кроці побудови ПС у парадигмі ГП.

Адекватне керування конфігурацією СПС потребує узгодженої інтеграції до БПР ГОР і БПР ПС відповідного процесу. На відміну від процесу керування конфігурацією одиничних ПС, який має чітко визначений профіль, включаючи нормативно-методичну та інструментальну підтримку, процес КК для СПС потребує формалізації та забезпечення всіх складових профіля [2].

Першим кроком такої формалізації може бути розроблення формальної моделі цього процесу (МС).

### Уніфікована формалізація процесу створення СПС

Враховуючи окреслені особливості процесів організаційного й технічного керування при реалізації БПР ГОР та БПР ПС, з метою їх уніфікованої формалізації (й подальшого створення на її підставі адекватного математичного апарату підтримки) пропонується наступне

**Означення 1.** Сімейство ПС – це трійка

$$SPS_t = \langle GOR_t, PRG_t, PRC_t \rangle, \quad (1)$$

$$(\forall GR \in GOR_t, PRG_t(GR) = TRUE) \wedge \\ \wedge (\forall GR \notin GOR_t, PRG_t(GR) = FALSE),$$

де  $t$  – довільний момент перебігу БПР ГОР і БПР ПС;

$GOR_t$  – множина ГОР станом на момент  $t$ ;

$PRG_t$  – деякий предикат приналежності до  $GOR_t$ , актуальний на момент  $t$ ;

$PRC_t$  – специфічний предикат, актуальний на момент  $t$ , що визначає припустимі операції композування ГОР при створенні окремих членів СПС у ході БПР ПС.

Згідно виразу (1), означення 1 сформульоване в термінах ГОР – кінцевих продуктів БПР ГОР. Зіставлення цього означення з організаційною структурою БПР ГОР і БПР ПС (див. рис. 1) та діями процесів керування у цих БПР (див. рис. 2) дозволяє конструктивізувати його для ПС – кінцевих продуктів БПР ПС – за допомогою

**Означення 2.** Сімейство ПС – це пара

$$SPS_t = \langle PS_t, PRP_t(PRG_t, PRC_t) \rangle, \quad (2)$$

де  $PS_t$  – множина ПС, отриманих у ході БПР ПС, станом на момент  $t$ ;

$PRP_t(PRG_t, PRC_t)$  – предикат приналежності до  $PS_t$ , актуальний на момент  $t$ , породжений предикатами  $PRG_t$  і  $PRC_t$  з означення 1.

Сформульовані означення 1 і 2 надають можливостей залучення до формалізації БПР ГОР і БПР ПС формалізму сі-

мейства процесів, розвинутого Л. Остервейлом [10, 11]. Обидва БПР можуть бути подані як сімейства взаємопов'язаних (через інформаційні об'єкти з репозитарію *IDE*, див. рис. 1) уніфікованих процесів виконання проектів розроблення відповідно ГОР та ПС.

Операції довільного процесу реалізуються агентами з ролями, окресленими на рис. 1 (*AG*), у спільному інформаційному середовищі всіх процесів (*EE*). Враховуючи наявність у процесах керування задач організаційного й технічного рівня, доцільно, як і в роботі [11], виділити в *EE* концептуальну модель Про БПР ГОР і БПР ПС (*O*) та ретроспективу результатів процесів створення ГОР і ПС (*R*). Однак, на відміну від [11], пропонується виокремити в *EE* також і репозитарій тих варіантів ГОР, названих незалежними, жоден з яких не може бути отриманий за допомогою решти варіантів ГОР, потребуючи безпосереднього розроблення (*REP<sub>t</sub>*). Роль концептів *O* тоді відіграватимуть типи ГОР і ПС, а також типи артефактів Про та робочих продуктів обох БПР, які є цільовими об'єктами ділових процесів організації-розробника. Варіанти ГОР, окремі ПС та зазначені артефакти і робочі продукти являтимуть собою екземпляри відповідних концептів. Довільний процес виконання проекту ГОР і ПС для створюваного СПС *SPS<sub>t</sub>* (1), (2) формуватиме спеціальну структуру знань, названу слідом процесу, яка є формальним поданням всіх його результатів. Графи, гілками яких є такі сліди, названі протоколами процесу розроблення СПС у цілому *PRF(SPS<sub>t</sub>)*, утворюватимуть ретроспективу *R*.

Остаточне подання СПС з використанням формалізму сімейства процесів, конструктивне для розроблення методів підтримки операцій процесів розроблення ГОР і ПС, встановлює

**Означення 3.** Сімейство ПС – це пара

$$SPS_t = \langle EE_t, CM_t(PRG_t, PRC_t) \rangle, \quad (3)$$

$$EE_t = O_t \cup R_t \cup REP_t,$$

де *EE<sub>t</sub>* – спільне середовище перебігу БПР ГОР і БПР ПС станом на момент *t*;

*O<sub>t</sub>* – концептуальна модель предметної області БПР ГОР і БПР ПС;

*R<sub>t</sub>* – спільна ретроспектива результатів БПР ГОР і БПР ПС;

*REP<sub>t</sub>* – репозитарій незалежних ГОР;

*CM<sub>t</sub>(PRG<sub>t</sub>, PRC<sub>t</sub>)* – модель координації [10, 11] операцій процесів з розроблення ГОР та ПС – граф, вершинами якого є ці операції.

Зазначимо, що потреби забезпечення й постійного підвищення якості членів СПС обумовлюють виокремлення двох класів операцій БПР ГОР і БПР ПС. Перший складають операції розроблення, які формують всі робочі продукти відповідних проектів та їх кінцеві продукти разом із структурами знань, що є їх формальними поданнями, постійно поповнюючи репозитарій *REP<sub>t</sub>* та протокол *PRF(SPS<sub>t</sub>)* у складі ретроспективи *R<sub>t</sub>*. Другий клас утворений операціями узгодженої актуалізації компонентів середовища *EE<sub>t</sub>* з (3), предикатів *PRG<sub>t</sub>*, *PRC<sub>t</sub>*, *PRP<sub>t</sub>* з (1), (2), моделі координації *CM<sub>t</sub>* (3) та параметрів операцій процесів за результатами розроблення ГОР і ПС з метою вдосконалення БПР ГОР і БПР ПС. Тому граф *CM<sub>t</sub>(PRG<sub>t</sub>, PRC<sub>t</sub>)* може бути розбитий на два порівнево пов'язані підграфи, структура першого з яких збігається зі структурою *PRF(SPS<sub>t</sub>)*. У свою чергу, цей підграф також розбивається на два підграфи, що подають склад та взаємозв'язки операцій процесів виконання проектів відповідно ГОР (*CMG<sub>t</sub>*) та ПС (*CMP<sub>t</sub>*).

Запропонована структура *CM<sub>t</sub>(PRG<sub>t</sub>, PRC<sub>t</sub>)* є підставою формального визначення БПР ГОР і БПР ПС (див. рис. 1) за допомогою

**Означення 4.** Моделі БПР ГОР і БПР ПС – це трійки

$$\begin{aligned} MG_t &= \langle AGG_t, EE_t, CMG_t \rangle; \\ MP_t &= \langle AGP_t, EE_t, CMP_t \rangle; \end{aligned} \quad (4)$$

$$AGG_t \cup AGP_t = AG; \quad AGG_t \cap AGP_t \supseteq \emptyset,$$

де *AGG<sub>t</sub>*, *AGP<sub>t</sub>* і *AG* – множини ролей агентів відповідно БПР ГОР, БПР ПС і процесу розроблення СПС.

Формалізація (4), запропонована для БПР ГОР та БПР ПС, породжує першочергові задачі створення математичного апарату їх адекватної підтримки, а саме:



- формування множин ролей агентів  $AGG_t$  та  $AGP_t$ ;
- встановлення складу категорій концептів моделі  $O_t$  та формальних засобів їх опису;
- визначення складу та взаємозв'язків операцій процесів виконання проєктів ГОР та ПС;
- визначення формальних подань для слідів процесів та протоколів розроблення  $PRF(SPS_t)$ ;
- визначення типів незалежних ГОР у репозитарії  $REP_t$  та формальних засобів їх опису;
- формування моделей координації БПР ГОР ( $CMG_t$ ), БПР ПС ( $CMP_t$ ) з (4) та  $CM_t$  з (3);
- розроблення методів виконання визначених операцій процесів виконання проєктів ГОР та ПС.

### **Висновки**

Звертання до інженерії СПС надає організаціям-розробникам низку переваг, зокрема, зниження вартості та ризику проєктів окремих ПС – членів СПС, постійне підвищення кваліфікації співробітників та вдосконалення процесу розроблення і його продуктів (через повторне використання набутого досвіду стосовно Про у вигляді ГОР і вдалих рішень у СПС), стимулювання еволюції СПС (через задоволення потреб у ПС з новими властивостями).

Однак реалізація наведених переваг потребує створення адекватного математичного апарату підтримки процесу розроблення СПС. З цією метою висвітлено його внутрішню структуру верхнього рівня, подану трійкою: базові процеси розроблення ГОР і ПС та процес керування конфігурацією, що “узгоджує” їх для досягнення згаданих переваг. Тому поряд із традиційними функціями з керування версіями ПС згідно ISO/IEC 12207, на нього покладаються також і нові функції:

- формування єдиного інформаційного середовища ефективної комунікації агентів процесів розроблення ГОР і ПС;
- підтримка інформаційного обміну між операціями цих процесів;
- створення умов підвищення ефективності індивідуальної й колективної

діяльності цих агентів у сформованому середовищі;

- накопичення й ефективне використання досвіду процесів розроблення ГОР і ПС для їх постійного вдосконалення. Їх підтримка обумовлює виокремлення у керуванні конфігурацією нового процесу керування варіантами ГОР, СПС і ПС та його інтеграцію до процесів керування проєктами ГОР і ПС.

Сформульовано специфічні задачі цих процесів з керування версіями й варіантами ГОР, СПС і ПС.

Для їх розв'язання базові процеси розроблення ГОР і ПС та процес керування конфігурацією подано як сімейства уніфікованих процесів виконання проєктів ГОР і ПС, здійснюваних у спільному інформаційному середовищі згідно єдиної моделі координації їх операцій агентами із відповідними ролями. У середовищі виділено три компоненти верхнього рівня: концептуальну модель Про цих БПР, ретроспективу їх результатів та репозитарій незалежно створюваних ГОР.

На підставі запропонованої формалізації процесу розроблення СПС надано методологічне ядро формованого математичного апарату його підтримки у складі базових означень СПС, конструктивних для створення методів підтримки його операцій, та першочергових задач конкретизації цих означень.

Запропонована формалізація СПС та базового процесу розроблення СПС надає можливостей інтеграції до нього процесу експертного оцінювання [11]. В результаті переваги останнього – підвищення формалізованої обґрунтованості рішень та створення умов підвищення ефективності діяльності агентів – поширюються на розроблення СПС.

1. Лавріщева К.М. Генерувальне програмування програмних систем і їх сімейств // Проблеми програмування. – 2009. – № 1. – С. 3 – 16.
2. Лавріщева К.М., Коваль Г.І., Коротун Т.М. Підходи інженерії якості сімейств програмних систем // Проблеми програмування. – 2008. – № 2-3. – С. 219 – 228.
3. Основи инженерии качества программных систем / Ф.И. Андон, Г.И. Коваль, Т.М.

- Коротун, Е.М. Лаврищева, В.Ю. Суслов // 2-е издание. – Киев.: Академперіодика, 2007. – 672 с.
4. *Czarnecki K., Helsen S.* Classification of Model Transformation Approaches – <http://www.swen.uwaterloo.ca/~kczarnec/gsdoverview.pdf>
  5. *Framework for Software Product Line Practice, version 5* – <http://www.sei.cmu.edu/productlines/index.html>
  6. *Czarnecki K., Helsen S., Eisenecker U.* Staged configuration through specialization and multi-level configuration of feature models // Software Process Improvement and Practice. – 2005. – N 10. – P. 143 – 169. – <http://swen.uwaterloo.ca/~kczarnec/spip05b.pdf>
  7. *Software Process Engineering Metamodel Specification (SPEM), version 1.1* // OMG, January 2005 – <http://www.omg.org/docs/formal/05-01-06.pdf>
  8. *Zubrow D., Chastek G.* Measures for Software Product Lines (CMU/SEI-2003-TN-031) – <http://www.sei.cmu.edu/pub/documents/03.reports/pdf/03tn031.pdf>
  9. *Variant Configuration of Software Systems (PESOA-Report N. 06/2004)* – [http://www.pesoa.de/pages/Publications/Fachberichte/022004/PESOA\\_TR\\_6-2004\\_%20Variant\\_%20Configuration%20of%20Software%20Systems.pdf](http://www.pesoa.de/pages/Publications/Fachberichte/022004/PESOA_TR_6-2004_%20Variant_%20Configuration%20of%20Software%20Systems.pdf)
  10. *Osterweil L.J.* et al. Representing Process Variation with a Process Family // Q. Wang, D. Pfahl, D.M. Raffo (Eds.): Software Process Dynamics and Agility, International Conf. on Software Process, ICSP 2007, Minneapolis, MN, USA, May 19– 20, 2007, Proceedings. – P. 109 – 120. – <http://laser.cs.umass.edu/techreports/07-13.pdf>
  11. *Лаврищева Е.М., Слабосицька О.А.* Підход к експертному оцінюванню в програмній інженерії // Кибернетика и системний аналіз. – 2009. – № 4. – С. 151 – 168.

**Про авторів:**

*Лаврищева Катерина Михайлівна,*  
доктор фізико-математичних наук,  
професор, завідувач відділом,

*Коваль Галина Іванівна,*  
кандидат фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник відділу,

*Слабосицька Ольга Олександрівна,*  
кандидат фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник відділу,

*Колеснік Андрій Леонідович,*  
аспірант ІПС НАН України,

**Місце роботи авторів:**

Інститут програмних систем НАН України  
03187, Київ-187,  
Проспект Академіка Глушкова, 40.  
Тел.: (044) 526 3470; (044) 526 4579.  
e-mail: lem@isofts.kiev.ua  
g.koval@ekotex.ua  
ols07@mail.ru  
a-kolesnik@hotmail.com

Отримано 05.05.2009