

Information systems research

УДК 004.4:519.816

doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.4.06>

М. Д. Годлевський, Г. О. Бурлаков

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЛАНУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПІДМНОЖИНИ ПРОЦЕСІВ МОДЕЛІ SPICE

Анотація. Об'єкт дослідження – процес розробки (ПР) програмного забезпечення (ПЗ). Предмет дослідження – моделі, метод та інформаційна технологія планування підвищення якості підмножини процесів моделі зрілості SPICE. Мета роботи у реалізації розроблених моделей, методу і технології в межах інформаційної технології та перевірка її працездатності на тестових прикладах. Методи досліджень: інженерія якості програмних систем; теорія корисності, на базі якої побудовано цільову функцію моделі; метод послідовного аналізу варіантів; теорія прийняття рішень і моделювання бізнес-процесів при розробці інформаційної технології підтримки прийняття рішень. Застосовані моделі: формалізовано модель зрілості SPICE, яку представлено у вигляді ієрархічної системи; синтезовано модель оцінки рівня можливості окремого процесу/підпроцесу моделі SPICE; синтезовано модель планування підвищення якості підмножини процесів моделі SPICE в умовах обмежених ресурсів. Застосовано метод послідовного аналізу варіантів, який було реалізовано на основі алгоритму «Київський віник». Отримані результати: розроблена технологія вирішення поставленої задачі, яку представлено у вигляді послідовності виконання окремих бізнес-процесів з використанням стандарту IDEFO; визначені вимоги до програмного забезпечення; розроблена модель даних предметної області; обґрунтовано інструментарій для розробки ПЗ; вибрана архітектура ПЗ; представлена діаграма розміщення компонентів ПЗ; перевірена працездатність розробленої інформаційної технології на тестових прикладах. Практичне значення роботи полягає в тому, що отримана інформаційна технологія дозволяє керівникам ІТ-компаній в межах виділених ресурсів на деякому плановому періоді побудувати траєкторію розвитку найбільш значущих процесів ПР ПЗ, визначити, яким чином на кожному підперіоді планування буде підвищуватись їх рівень можливості з метою отримання якісного ПЗ.

Ключові слова: процес розробки програмного забезпечення; модель; інформаційна технологія; інженерія якості; теорія корисності; метод послідовного аналізу варіантів; теорія прийняття рішень.

Вступ

Розробка інформаційної технології планування підвищення якості підмножини процесів моделі SPICE призначена для проведення досліджень, пов'язаних з формуванням множини варіантів плану з метою визначення підмножини варіантів, які відносяться до ефективних рішень. Далі ці ефективні рішення надаються особі, що приймає рішення (ОПР), для вибору остаточного варіанта плану і впровадження його в життя. Отже, основна мета статті пов'язана безпосередньо з реалізацією основних етапів розробки інформаційної технології і перевірки її працездатності на тестових прикладах і у подальшому використанні для підтримки прийняття рішень ОПР. Для реалізації мети роботи необхідно було вирішити наступні задачі:

1) на основі розробки: моделі оцінки рівня можливості окремого процесу моделі SPICE, моделі планування розвитку підмножини процесів, алгоритма планування розвитку підмножини процесів на базі метода послідовного аналізу варіантів (ПАВ) формування послідовності виконання окремих бізнес-процесів з використанням стандарту IDEFO;

2) визначення вимог до програмного забезпечення функціональних і нефункціональних;

3) синтез діаграми варіантів використання програмного забезпечення;

4) розробка моделей даних предметної області;

5) обґрунтування вибору інструментарію для розробки програмного забезпечення;

6) вибір еталонної системної архітектури;
7) формування діаграми розміщення компонентів;
8) представлення результатів досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розгляд проблеми підвищення якості процесу розробки програмного забезпечення (ПР ПЗ) показав, що є низка стандартів, які використовуються для розробки програмного забезпечення і оцінки якості ПР ПЗ.

ISO 9001 – загальний стандарт, який може бути застосованим до будь-якої організації в будь-якій галузі бізнесу. Він визначає набір операційних процесів і пропонує проектування, документування, впровадження, моніторинг і постійне вдосконалення цих операційних процесів [1].

ISO/IEC 9126 – стандарт містить модель якості програмного забезпечення та набір показників для підтримки моделі [2].

ISO/IEC 25010 – цей стандарт замінив попередній стандарт і містить модернізований набір атрибутів якості і, зокрема, атрибутам, пов'язаним з безпекою, приділено більше уваги [3].

ISO 27001 – модель була спеціально розроблена для сертифікації процесів інформаційної безпеки та є частиною серії стандартів, що стосуються інформаційної безпеки. Модель базується на базовому припущенні, якщо процес правильний, результат розробки програмної системи буде задовільним [4].

Незважаючи на широке використання вище названих моделей, найбільш популярними є моделі зрілості SPICE (Software Process Improvement and

Capability Determination) та CMMI (Capability Maturity Model Integration) [5–10]. Модель SPICE описувалась стандартом ISO/IEC 15504 [11], Поточний стандарт SO/IEC 33001:2015 є переглядом ISO/IEC 15504, який також розглядає модель SPICE та охоплює широкий набір процесів, пов'язаних із придбанням, розробкою, експлуатацією, постачанням, обслуговуванням і підтримкою програмного забезпечення. Модель CMMI має два варіанти використання: дискретний і безперервний [12, 13]. Перший варіант має п'ять рівнів зрілості. У другому варіанті реалізується оцінка окремих фокусних областей за допомогою рівнів можливості. Модель CMMI реалізована на основі моделі CMM [13].

У той же час усі ці моделі від самого початку мали тільки вербальний опис, який не дозволяв автоматизувати процес оцінки рівня якості окремих процесів і всього процесу розробки програмного забезпечення. Тим паче не було можливості вирішувати задачу планування підвищення якості ПР ПЗ в умовах обмежених ресурсів на деякому плановому періоді. Перші роботи, які присвячені формалізації вербального опису моделей зрілості та реалізації розроблених моделей та алгоритмів у вигляді інформаційних технологій, відносяться до CMMI [14]. В цих дослідженнях вирішена задача формалізації моделі CMMI і розробки технології ковшного планування розвитку ПР ПЗ на основі статичної і динамічної моделей. Але недоліки моделі CMMI в тому, що вона не враховує особливості функціонування ІТ-компанії, ПР ПЗ якої розглядається, такі як:

- розмір ІТ-компанії, яка розробляє ПЗ;
- моделі життєвого циклу ПР ПЗ і особливості методологій управління проектами розробки ПЗ;
- предметна область, в якій працює ІТ-компанія;
- основна мета ІТ-компанії при розробці ПЗ (максимізація прибутку, захоплення нових ринків збуту продукції і т.інш.).

Усе це призвело до спроб на базі моделі SPICE врахувати ці особливості. До таких спроб відносяться роботи [15–17]. Фактично вони є першим кроком до формалізації моделі SPICE і на цій основі синтезу нової моделі SPICE INTEGRATION (INT), яка б мала два варіанта використання: безперервний і дискретний (як модель CMMI), але дискретний варіант враховує особливості ІТ-компанії.

Стисла характеристика моделей та алгоритму, які використано в інформаційній технології

Виділимо три етапи формування динамічної моделі планування розвитку підмножини процесів еталонної моделі зрілості SPICE.

На першому етапі реалізується формалізація структури моделі SPICE. З цієї метою основні поняття моделі визначені так: множина груп процесів – G , де $g \in G$; множина категорій процесів – K_g , $k \in K_g$; множина процесів/підпроцесів – P_{gk} , $p \in P_{gk}$; множина практик – I_{gk}^p , $i \in I_{gk}^p$.

На другому етапі проведено формалізацію оцінки рівня можливості процесу/підпроцесу моделі SPICE. Для цього введено дискретні змінні $X_{gk}^{pt}(i, \alpha) \in \{1, 2, 3, 4\}$, які визначають ступінь володіння рисою α -атрибута, який відноситься до p -го процесу/підпроцесу i -ї практики k -ї категорії g -ї групи процесів моделі SPICE у t -му підперіоді, $t \in [1, T]$, де T – протяжність періоду планування. Всього розглядається дев'ять атрибутів. Рівень можливості γ окремої практики визначається згідно з [15] (табл. 1) і вводиться поняття граничної матриці (табл. 2)

$$\Lambda = \{\Lambda(\gamma, \alpha), \gamma = \overline{0,5}, \alpha = \overline{1,9}\},$$

де $\Lambda(\gamma, \alpha) \in \{1, 2, 3, 4\}$. Далі на основі матриці змінних $\{X_{gk}^{pt}(i, \alpha)\}$ і граничної матриці Λ формується вектор відповідності рівням можливості кожного p -го процесу моделі SPICE.

$$\Theta_{gk}^{pt} = \{\Theta_{gk}^{pt}(\gamma), \gamma = \overline{0,5}\}.$$

Процес відповідає γ -рівню можливості, якщо $\Theta_{gk}^{pt}(\gamma) = 1$. Якщо $0 < \Theta_{gk}^{pt}(\gamma) < 1$, значення $\Theta_{gk}^{pt}(\gamma)$ відповідає рівню досягнення процесом γ -рівня можливості.

Третій етап присвячено синтезу моделі планування розвитку підмножини процесів моделі SPICE. Спочатку визначається інтегральна оцінка рівня можливості p -го процесу на t -му підперіоді планування наступним чином

$$\Theta_{gk}^{pt} = \prod_{\gamma=1}^5 \Theta_{gk}^{pt}(\gamma). \quad (1)$$

Далі для деякої підмножини процесів реалізується згортка оцінок окремих процесів (1). Вважається, що їхній інтегральний рівень можливості є функцією $\bar{F}^t(\bar{X}^t)$ від матриці \bar{X}^t оцінок підмножини процесів, а приріст їхнього рівня можливості визначається наступним чином

$$\bar{\Phi}_t(\bar{X}^{t-1}, \bar{X}^t) = \bar{F}^t(\bar{X}^t) - \bar{F}^t(\bar{X}^{t-1}). \quad (2)$$

Далі на основі (2) з урахуванням важливості ξ_t кожного t -го підперіоду планування формується цільова функція моделі

$$F(\bar{X}) = \sum_{t \in [1, T]} \xi_t \bar{\Phi}_t(\bar{X}^{t-1}, \bar{X}^t).$$

На цільову функцію накладаються обмеження на ресурси, які визначені у [15] (формула 19).

З метою оптимізації динамічної моделі, яку коротко представлено вище, використано алгоритм «Київський віник», який реалізовано на основі методу ПАВ [16]. На кожному кроці алгоритму «відмі-

тається» множина неконкурентоспроможних варіантів вирішення задачі. Цей алгоритм дозволяє знайти глобальний екстремум. При цьому на окремі складові цільової функції не накладається ніяких умов.

Основні етапи розробки інформаційної технології

Основою для розробки інформаційної технології є роботи [15–17], в яких наведено: вербальний опис технології, динамічна модель та метод послідовного аналізу варіантів для вирішення задачі планування розвитку підмножини процесів еталонної моделі зрілості SPICE, стисла характеристика яких наведена вище.

Перший етап інформаційної технології присвячено визначенню послідовності виконання окремих бізнес-процесів з використанням стандарту IDEFO, який представлено на рис. 1.

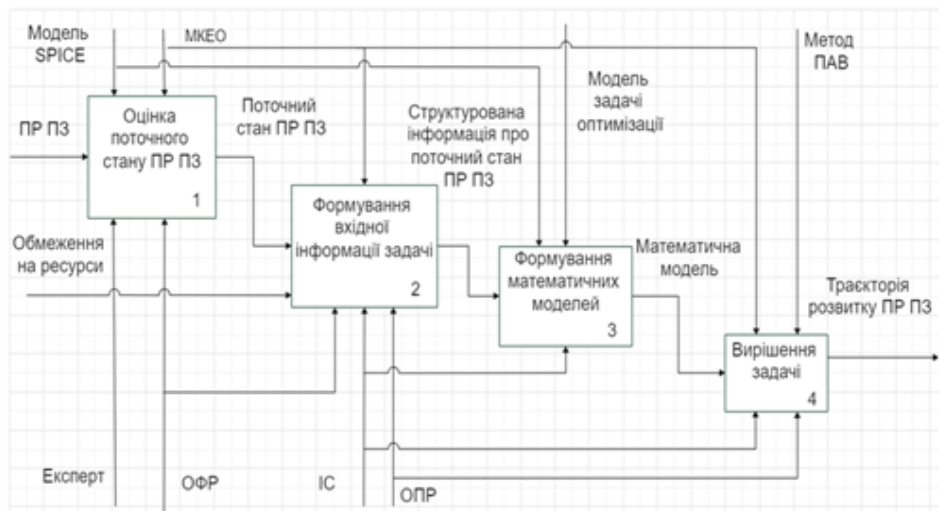


Рис. 1. Покращення якості PR PZ еталонної моделі SPICE на основі методу послідовного аналізу варіантів

Другий етап інформаційної технології присвячено визначенню вимог до програмного забезпечення функціональних та нефункціональних і на цій основі формування діаграми варіантів використання ПЗ.

Третій етап присвячено розробці моделей даних предметної області, на основі яких розроблено БД в СКБД MS SQL Server.

На четвертому етапі проведено обґрунтування вибору інструментарію для розробки ПЗ. Було обрано мову програмування C# та .NET Framework і для розробки ПЗ використовувалося Microsoft Visual Studio 2022 – інтегроване середовище для розробки, що надавало весь необхідний функціонал для програмування під платформу .NET, мовою C# в тому числі.

З метою спрощення роботи з БД, було використано ORM-рішення Entity Framework. Це дозволяє на основі підходу «Code First» створити моделі даних і на їх основі згенерувати скрипт для автоматичної генерації БД у обраній СКБД. Також його використання дає змогу взаємодіяти з СУБД на основі цих сутностей, а не таблиць та вручну написаних SQL-запитів, як це реалізовано в ADO.NET. Вели-

кий перший бізнес-процес присвячено формуванню вихідного стану PR PZ відповідно до моделі SPICE. При вирішенні цієї задачі використовується метод колективного експертного оцінювання (МКЕО) і залучаються експерти ІТ-компанії, а також особи, що формують рішення (ОФР).

Другий бізнес-процес присвячено формуванню вхідної інформації на основі оцінки поточного стану PR PZ. Для цього враховуються обмеження на ресурси. Задача вирішується на основі інформаційної системи (ІС) із залученням МКЕО, яку використовує ОФР і ОПР. Третій бізнес-процес на основі структурованої інформації про поточний стан PR PZ реалізує синтез математичних моделей, які є вхідною інформацією для четвертого бізнес-процесу, який присвячено вирішенню поставленої задачі на основі методу ПАВ. У результаті ми отримуємо траєкторію розвитку підмножини процесів PR PZ.

кою перевагою є можливість використання LINQ для роботи з моделями даних, що надає змогу використовувати як Fluent-синтаксис так і традиційний схожий на SQL код для отримання даних.

П'ятий етап присвячено вибору архітектури ПЗ і формуванню діаграми розміщення компонентів. На основі всіх плюсів та мінусів розглянутих архітектурних підходів було прийнято рішення використовувати тривірневий клієнт-сервер з виділеним сервером застосунків. На рис. 2 зображено діаграму розміщення компонентів у рамках даної архітектури.

Реалізація програмних модулів і компонентів здійснювалась на основі використання таких технологій та фреймворків:

1. ASP.NET Core 3 – представляє собою крос-платформний фреймворк, реалізований спеціально під платформу .NET для створення веб-сторінок;
2. Entity Framework 6 – ORM-рішення для платформи .NET;
3. MS SQL Server 2017 – СКБД;
4. Bootstrap 5 – набір інструментів, що призначений для створення веб-застосунків, що містить в собі шаблони CSS та HTML для типографіки, форм, кнопок, а також розширення для JavaScript.

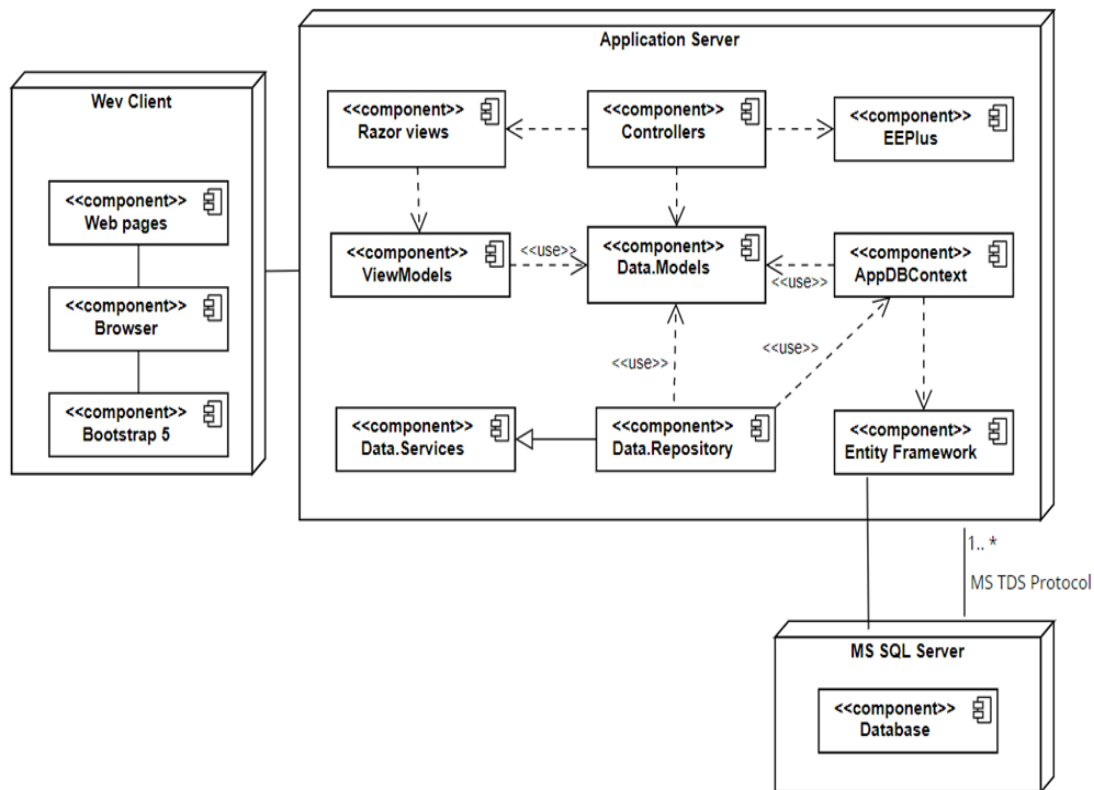


Рис. 2. Діаграма розміщення компонентів

Проведемо короткий огляд основних компонентів, виділених на діаграмі розміщення.

Сервер застосунку представляє собою виділений сервер, на якому розгортається розроблене програмне забезпечення. До його складу входять наступні компоненти:

1. Controllers – контролери, або ж опрацьовувачі запитів, що надходять на сервер зі сторони клієнту.

2. Razor views – набір представлень, що відображають дані отримані від контролерів у відповідному форматі.

3. Data.Models – набір сутностей призначених для зберігання даних в БД та маніпуляції ними в класах контролерів.

4. ViewModels – набір класів, що призначені для спрощення взаємодії між контролерами та представленнями, шляхом форматування даних у відповідності до потреб.

5. EEPlus – бібліотека, що використовується для генерації звітів в Excel форматі.

6. AppDbContext – основний інтерфейс взаємодії серверу застосунків з сервером БД.

7. Data.Services – набір сервісів, що інкапсулюють в собі бізнес-логіку.

8. Data.Repository – конкретна реалізація набору сервісів. ASP.NET Core має технологію Dependency Injection, що дозволяє розробнику сконфігурувати декілька реалізацій одного серверу і використовувати ту чи іншу, в залежності від потреб в класах контролерів, або інших сервісів.

На сервері БД MS SQL Server знаходиться лиш один компонент «Database», що представляє собою БД застосунку.

Клієнтський застосунок по суті є набором сторінок в браузері кінцевого користувача та містить у собі такі компоненти:

1. Browser – ПЗ, що надає користувачу можливість взаємодіяти з ресурсами серверу шляхом відправлення на нього запитів та отримання від нього відповідей за допомогою графічного інтерфейсу.

2. Bootstrap 5 – набір інструментів, що містить в собі готові CSS та HTML шаблони.

3. Web pages – набір згенерованих веб-сторінок, призначених для взаємодії користувача та ПЗ.

В цілях перевірки працездатності розробленої системи підтримки прийняття рішень, було сформовано інформацію про поточний стан ПР ПЗ. До розгляду обрано 15 процесів та 87 практик, які належать до груп процесів з всіх трьох категорій, що є ключовими в процесі покращення якості ПР ПЗ. Будемо вважати, що кожна з обраних практик має на вході третій рівень можливості, а ціллю є їх перехід на п'ятий рівень. В якості прикладу в табл. 1 детально описано поточний стан практик для процесу «SUP.1 – Гарантія якості».

Розглядається п'ять практик, для кожної з яких визначено вагові коефіцієнти, а також ресурси, необхідні для переходу на новий рівень можливості. Дослідження проведено для двох варіантів обмежень на ресурси та двох варіантів розподілу вагових коефіцієнтів за підперіодами. У результаті сформовано чотири різних варіанти задачі (таблиця 2).

Проаналізуємо динаміку зміни рівня можливості окремих практик процесу SUP.1 для чотирьох варіантів задачі. На рис. 3 спостерігається наступна динаміка.

Таблиця 1 – Вихідна інформація по процесу «SUP.1 – Гарантія якості»

Категорія – ВК	Підтримка процесів життєвого циклу – 0.2				
Група процесів – ВК	«SUP – Підтримка життєвого циклу» – 1				
Процес – ВК	«SUP.1 – Гарантія якості» – 0.4				
Практики – ВК	BP1 – 0.2	BP2 – 0.2	BP3 – 0.2	BP7 – 0.2	BP8 – 0.2
Початковий стан	3	3	3	3	3
Цільовий стан	4	4	4	4	4
Необідні ресурси, у.о.	568	565	567	561	566
Початковий стан	3	3	3	3	3
Цільовий стан	5	5	5	5	5
Необідні ресурси, у.о.	840	834	837	828	838
Початковий стан	4	4	4	4	4
Цільовий стан	5	5	5	5	5
Необідні ресурси, у.о.	552	546	549	543	551

Таблиця 2 – Вихідна інформація задачі по підперіодам

№ Варіанту	Обмеження на ресурси (у.о.) – ВК				
	1 підперіод	2 підперіод	3 підперіод	4 підперіод	Загальна сума
1	20000 – 0.4	15000 – 0.2	30000 – 0.3	25000 – 0.1	90000
2	20000 – 0.1	15000 – 0.3	30000 – 0.5	25000 – 0.1	90000
3	15000 – 0.4	10000 – 0.2	25000 – 0.3	25000 – 0.1	75000
4	15000 – 0.1	10000 – 0.3	25000 – 0.5	25000 – 0.1	75000

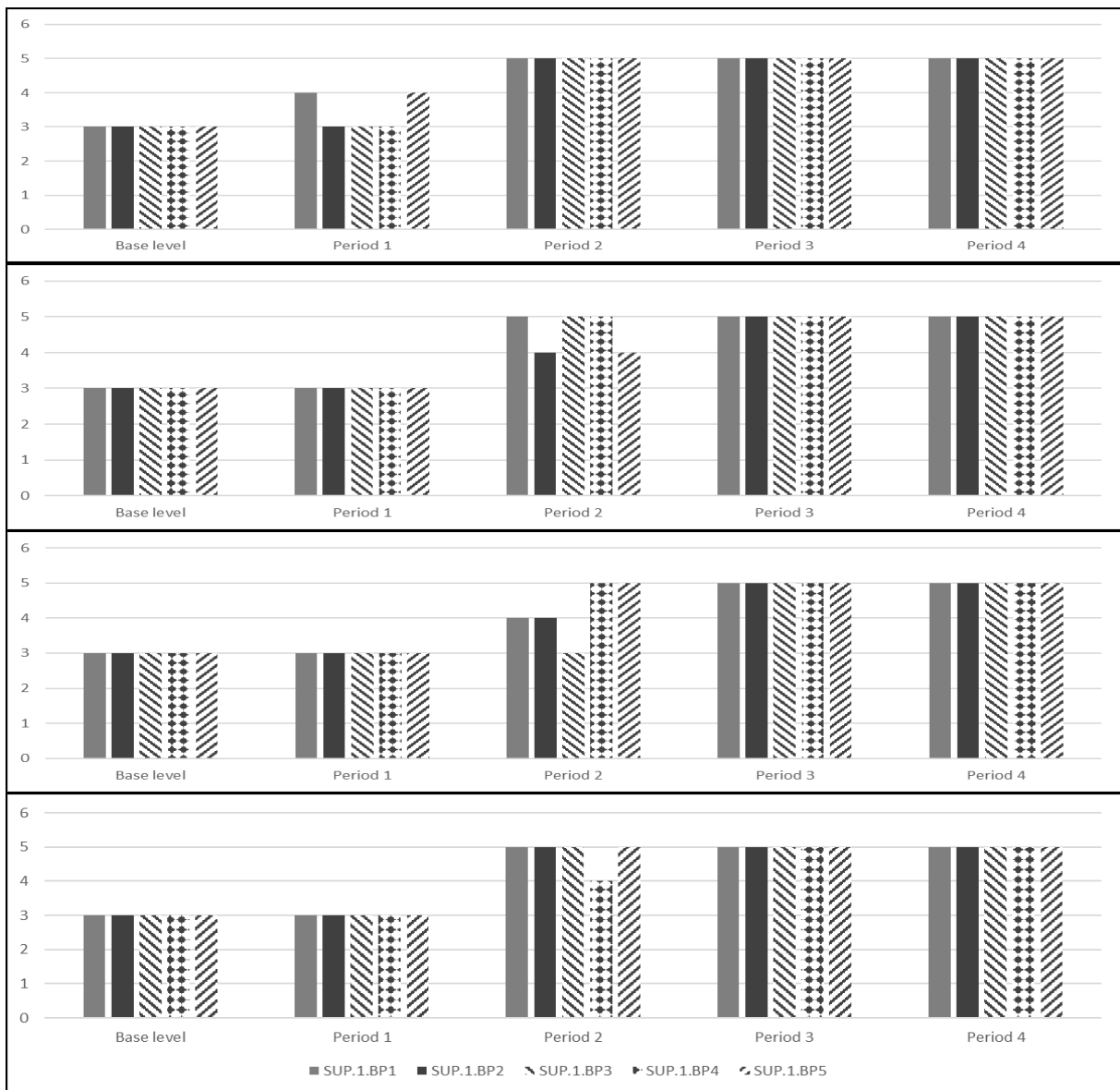


Рис. 3. Динаміка зміни рівнів можливості практик процесу SUP.1

На першому підперіоді, яка правило, недостатньо ресурсів для того, щоб перевести практики на новий рівень можливості, тому вони або залишаються на третьому рівні можливості, або ж отримують невеликий приріст (як, наприклад, у першому варіанті задачі). Це пов'язано з тим, що ресурси в першу чергу йдуть на те, щоб перевести інші практики на новий рівень можливості, а потім настає черга практик даного процесу.

Проведемо аналіз ступеня досягнення цілі для підмножини процесів моделі SPICE. Це 15 процесів,

в яких загалом задіяно 87 практик. На рис. 4 представлено чотири варіанти вирішення задачі.

Як видно з рисунку, для всіх рішень відлік починається з значення 0,6. Це значення відповідає третьому рівню можливості всіх практик і є однаковим для всіх задач.

Для першого та другого варіантів достатньо ресурсів і тому ціль досягається у повному обсязі, що відповідає значенню 1. Для третього та четвертого варіантів цей показник дорівнює 0,93 через нестачу ресурсів.

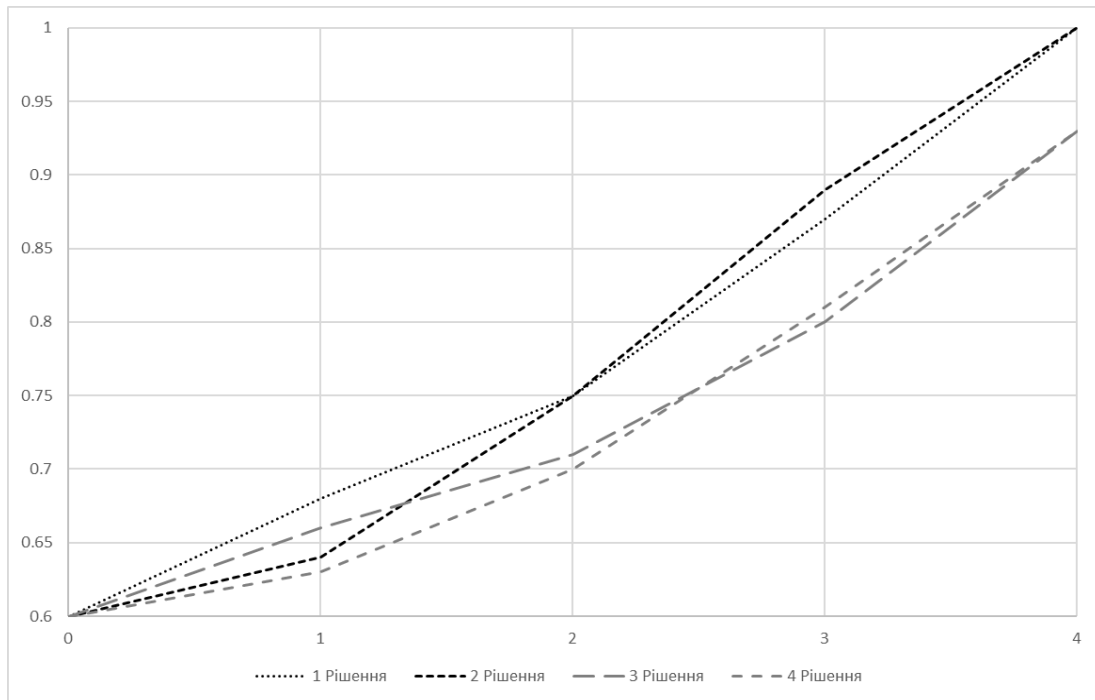


Рис. 4. Динаміка зміни показника ступеня досягнення цілі за підперіодами для виділених варіантів задачі

Далі розглянемо питання впливу вагових коефіцієнтів важливості окремих підперіодів планування на динаміку зміни показника ступеня досягнення поставленої цілі.

Порівнюючи перший та другий варіанти задачі можна помітити, що на першому підперіоді планування показник ступеня досягнення цілі для першого варіанта був вищим, на другому підперіоді цей показник однаковий для першого і другого варіантів задачі.

На третьому підперіоді вже показник ступеня досягнення цілі більший для другого варіанта задачі і на четвертому підперіоді обидва варіанти задачі досягли значення показника одиниці.

Аналогічна ситуація спостерігається для третього та четвертого варіантів задачі. Все це призводить до зміни динаміки підвищення рівня можливості окремих практик і процесів.

Отже, проводячи варіювання вагових коефіцієнтів окремих практик, процесів, підперіодів планування, змінюючи рівень забезпечення ресурсами ПП ПЗ, можна проводити експерименти щодо планування підвищення рівня можливості підмножини процесів моделі SPICE.

Саме це і було метою роботи.

Висновки. Шляхи подальших досліджень

Фактично можна стверджувати, що ця робота є завершенням першого етапу формалізації еталонної моделі зрілості SPICE.

Модель зрілості SPICE складається з таких підетапів.

1. Аналіз моделей зрілості CMMI та SPICE і виявлення позитивних та негативних сторін.

2. На основі негативних сторін моделі SPICE і, беручи до уваги позитивні сторони моделі CMMI, з погляду її формалізації, виконання наступних кроків:

- формалізація структури моделі SPICE і представлення її як ієрархічну систему;

- синтез моделі оцінки рівня можливості окремого процесу/підпроцесу моделі SPICE;

- синтез моделі планування підвищення якості підмножини процесів моделі SPICE в умовах обмежених ресурсів.

3. На основі розроблених: методу, моделей та алгоритму синтезу інформаційної технології планування підвищення якості підмножини процесів моделі SPICE і перевірка її працездатності на тестових прикладах.

Подальші дослідження в напрямку формалізації моделі SPICE будуть спрямовані на використання позитивних сторін моделі CMMI і врахування її негативних проявів.

А саме, побудови дискретного варіанта моделі SPICE з врахуванням особливостей ІТ-компанії, ПР ПЗ якої розглядається.

Основними етапами вирішення цієї задачі є:

- 1) структурний синтез моделі SPICE INT;
- 2) параметричний синтез моделі SPICE INT;
- 3) розробка моделі та алгоритму планування розвитку ПР ПЗ ІТ-компанії на основі моделі SPICE INT;
- 4) розробка інформаційної технології на базі цих моделей та алгоритму і перевірка їх працездатності на тестових прикладах.

REFERENCES

1. Wissenberg, N. (2015), *History and best practice of the standard for quality management systems DIN EN ISO 9001*, Faculty of Communication and Environment of the Rhine-Waal University of Applied Sciences, 7 p., available at: https://opus4.kobv.de/opus4-rhein-waal/files/750/Wissenberg_Natalie.pdf
2. Al-Qutaish, Rafa (2010), "Quality Models in Software Engineering Literature: An Analytical and Comparative Study", *Journal of American Science*, Vol. 6, 10 p., available at: <https://ijcsi.org/papers/IJCSI-10-6-1-309-314.pdf>
3. Estdale, J. and Georgiadou, E. (2018), "Applying the ISO/IEC 25010 Quality Models to Software Product", *Communications in Computer and Information Science*, Vol 896, pp. 492–503, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-97925-0_42
4. Fonseca-Herrera, O., Rojas, A.E. and Florez, H. (2021), "A Model of an Information Security Management System Based on NTC-ISO/IEC 27001 Standard", *IAENG International Journal of Computer Science*, Vol. 48, pp. 1–10, available at: https://www.iaeng.org/IJCS/issues_v48/issue_2/IJCS_48_2_01.pdf
5. Górecki, K. and Detka, K. (2023), SPICE-Aided Models of Magnetic Elements—A Critical Review, *Energies*, Vol. 16(18), 6568, doi: <https://doi.org/10.3390/en16186568>
6. Rajpoot, J., Paul, R. and Verma, S. (2023), "SPICE-Based Compact Model for Voltage-Induced Magnetocapacitance in Magnetic Tunnel Junctions", *IEEE Trans. on Magnetics*, 59(9), 7200108, doi: <https://doi.org/10.1109/TMAG.2023.3296830>
7. Dun, B., Zakovorotnyi, O. and Kuchuk, N. (2023), "Generating currency exchange rate data based on Quant-Gan model", *Advanced Information Systems*, Vol. 7, no. 2, pp. 68–74, doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.2.10>
8. Alshammari, F.H. (2023), "Design of capability maturity model integration with cybersecurity risk severity complex prediction using bayesian-based machine learning models", *Service Oriented Computing and Applications*, Vol. 17(1), pp. 59–72, doi: <https://doi.org/10.1007/s11761-022-00354-4>
9. Dotsenko, N., Chumachenko, I., Galkin, A., Kuchuk, H. and Chumachenko, D. (2023), "Modeling the Transformation of Configuration Management Processes in a Multi-Project Environment", *Sustainability (Switzerland)*, Vol. 15(19), 14308, doi: <https://doi.org/10.3390/su151914308>
10. Joembunthanaphong, P. (2023), "Attaining CMMI level 3 with agile development in small-medium firms", *Innovation, Strategy, and Transformation Frameworks for the Modern Enterprise*, pp. 115–149, doi: <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-0458-7.ch005>
11. Mesquida A., Mas A., Alcover A. and Calvo-Manzano J. (2012), "IT Service Management Process Improvement based on ISO/IEC 15504: A systematic review", *Inf.&Soft. Tech.*, Vol. 54, pp. 239–247, doi: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2011.11.002>
12. Mutafelija B. (2009), *Process improvement with CMMI v1.2 and ISO standards*. Auerbach Pubs, 406 p., doi: <https://doi.org/10.1201/9781420052848>
13. (2010), *CMMI for Development Version 3*, available at: https://resources.sei.cmu.edu/asset_files/technicalreport/2010_005_001_15287.pdf
14. Godlevskiy, M. D., Goloskokova, A. A. and Chipizhenko, A. A. (2017), "Medium-term planning information technology for quality improvement of the software development process based on the CMMI model", *Bulletin of NTU "KhPI". Syst. Anal., control and inf. Tech.*, No. 51(1272), NTU "KhPI", Kharkiv, pp. 32–37. <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2017.51.05>
15. Godlevskiy, M. D., Goloskokova, A. A. and Burlakov, G. O. (2020), "A dynamic model for development planning of process subsets for the SPICE reference maturity model", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology*, NTU "KhPI", Kharkiv, No. 2 (4), pp. 10–16, doi: doi.org/10.20998/2079-0023.2020.02.02
16. Godlevskiy M. D. and Burlakov, G. O. (2022), "Planning the development of the software development process based on the method of sequential analysis of options", *Bulletin of NTU "KhPI", Series: System analysis, control and information technology*, NTU "KhPI", Kharkiv, No. 2 (8), pp. 100–105, doi: <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2022.02.15>
17. Godlevskiy M. D., Burlakov G. O. "Verbal description of the quality improvement planning technology for a subset of processes of the SPICE Maturity Reference Model", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology*, NTU "KhPI", Kharkiv, 2023, No 1 (9), pp. 41–48, doi: <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2023.01.06>

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Natalie Wissenberg. History and best practice of the standard for quality management systems DIN EN ISO 9001. Faculty of Communication and Environment of the Rhine-Waal University of Applied Sciences. 2015. 7 p. URL: https://opus4.kobv.de/opus4-rhein-waal/files/750/Wissenberg_Natalie.pdf
2. Al-Qutaish, Rafa. Quality Models in Software Engineering Literature: An Analytical and Comparative Study. *Journal of American Science*. Vol. 6. 2010. 10 p. URL: <https://ijcsi.org/papers/IJCSI-10-6-1-309-314.pdf>
3. Estdale J., Georgiadou E. Applying the ISO/IEC 25010 Quality Models to Software Product. *Communications in Computer and Information Science*. Vol 896. C. 492–503. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-97925-0_42
4. Fonseca-Herrera Omar, Rojas Alix E, Florez Hector. A Model of an Information Security Management System Based on NTC-ISO/IEC 27001 Standard. *IAENG International Journal of Computer Science*. Vol. 48. 2021. pp. 1–10. URL: https://www.iaeng.org/IJCS/issues_v48/issue_2/IJCS_48_2_01.pdf
5. Górecki K., Detka K. SPICE-Aided Models of Magnetic Elements—A Critical Review. *Energies*. 2023. Vol. 16(18). 6568. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16186568>
6. Rajpoot J., Paul R., Verma, S. SPICE-Based Compact Model for Voltage-Induced Magnetocapacitance in Magnetic Tunnel Junctions. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2023. 59(9). 7200108. DOI: <https://doi.org/10.1109/TMAG.2023.3296830>

7. Dun B., Zakovorotnyi O., Kuchuk N. Generating currency exchange rate data based on Quant-Gan model. *Advanced Information Systems*. 2023. Vol. 7, no. 2. P. 68–74. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.2.10>
8. Alshammari F.H. Design of capability maturity model integration with cybersecurity risk severity complex prediction using bayesian-based machine learning models. *Service Oriented Computing and Applications*. 2023. Vol. 17(1). P. 59–72. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11761-022-00354-4>
9. Dotsenko N., Chumachenko I., Galkin A., Kuchuk H., Chumachenko D. Modeling the Transformation of Configuration Management Processes in a Multi-Project Environment. *Sustainability (Switzerland)*. 2023. Vol. 15(19). 14308. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151914308>
10. Joembunthanaphong P. Attaining CMMI level 3 with agile development in small-medium firms. *Innovation, Strategy and Transformation Frameworks for the Modern Enterprise*. 2023. P. 115–149. DOI: <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-0458-7.ch005>
11. Mesquida Antoni, Mas Antònia, Alcover Amengual, Calvo-Manzano Jose. IT Service Management Process Improvement based on ISO/IEC 15504: A systematic review. *Information & Software Technology*. Vol. 54. 2012. P. 239–247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2011.11.002>
12. Mutafelija B. Process improvement with CMMI v1.2 and ISO standards. Auerbach Pubs, 2009. 406 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420052848>
13. CMMI for Development Version 3. URL: https://resources.sei.cmu.edu/asset_files/technicalreport/2010_005_001_15287.pdf
14. Godlevskiy M. D., Goloskokova A. A., Chipizhenko A. A. Medium-term planning information technology for quality improvement of the software development process based on the CMMI model. *Вісник НТУ «ХПІ». Сист. аналіз, управління та інф. техн.* Х.: НТУ «ХПІ», 2017. № 51 (1272). С. 32–37. DOI: <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2017.51.05>
15. Годлевський М. Д., Голоскокова А. О., Бурлаков Г. О. Динамічна модель планування розвитку підмножини процесів еталонної моделі зрілості SPICE. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології.* Харків: НТУ «ХПІ», 2020. № 2 (4). С. 10–16. DOI: doi.org/10.20998/2079-0023.2020.02.02
16. Годлевський М. Д., Бурлаков Г. О. Планування розвитку процесу розробки програмного забезпечення на основі методу послідовного аналізу варіантів. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології.* Харків: НТУ «ХПІ», 2022. № 2 (8). С. 100–105. <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2022.02.15>
17. Годлевський М. Д., Бурлаков Г. О. Вербальний опис технології планування підвищення якості підмножини процесів еталонної моделі зрілості SPICE. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології.* Харків: НТУ «ХПІ», 2023. № 1 (9). С. 41–48. DOI: <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2023.01.06>

Received (Надійшла) 14.09.2023

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.11.2023

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Годлевський Михайло Дмитрович – доктор технічних наук, професор, директор навчально-наукового інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;

Mykhailo Hodlevskiy – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Educational and Scientific Institute of Computer Science and Information Technologies; National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: god_asu@kpi.kharkov.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2872-0598>.

Бурлаков Георгій Олександрович – аспірант кафедри програмної інженерії та інтелектуальних технологій управління, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;

Georgii Burlakov – Graduate Student of the department of software engineering and intelligent management technologies, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; e-mail: george@sheerchain.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0423-6024>.

Information technology of quality improvement planning of process subsets of the spice model

Mykhailo Hodlevskiy, Georgii Burlakov

Abstract. The object of research is the software development process. The subject of the study is models, methods and information technology for planning quality improvement of a subset of processes of the SPICE maturity model. The aim of the work is to implement the developed models, method and technology within the framework of information technology and check its performance on test examples. **Research methods:** quality engineering of software systems; the theory of utility, on the basis of which the target function of the model is built; the method of options sequential analysis; the decision-making theory and modeling of business processes in the development of decision-making support information technology. **Applied models:** the SPICE maturity model is formalized, which is presented in the form of a hierarchical system; a model for evaluating the level of possibility of a separate process/subprocess of the SPICE model was synthesized; the quality improvement-planning model of a subset of the SPICE model processes under conditions of limited resources is synthesized. **The method** of options sequential analysis was applied, which was implemented on the basis of the "Kyiv Broom" algorithm. **The obtained results:** a technology for solving the given task was developed, which is presented in the form of a sequence of execution of individual business processes using the IDEFO standard; the requirements for software were defined; a data model of the subject area was developed; the toolkit for software development is substantiated; the software architecture was chosen; a diagram of software components placement is presented; the performance of the developed information technology was verified on test examples. **The practical significance** of the work lies in the fact that the obtained information technology allows the managers of IT companies within the limits of the allocated resources in a certain planning period to build the trajectory of the development of the most significant processes of software, to determine how their level of opportunity will increase in each planning sub-period in order to obtain quality software.

Keywords: software development process; model; information technology; quality engineering; utility theory; method of sequential analysis of options; decision-making theory.