

УПРАВЛІННЯ В ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

УПРАВЛЕНИЕ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

MANAGEMENT IN ORGANIZATIONAL SYSTEMS

УДК 004.4.075

DOI: 10.20998/2079-0023.2020.02.02

*М. Д. ГОДЛЕВСЬКИЙ, А. О. ГОЛОСКОКОВА, Г. О. БУРЛАКОВ***ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ РОЗВИТКУ ПІДМНОЖИНИ ПРОЦЕСІВ ЕТАЛОННОЇ МОДЕЛІ ЗРІЛОСТІ SPICE**

Стисло розглянуто об'єкт дослідження – процес розробки програмного забезпечення (ПР ПЗ). Відзначено, що першими кроками удосконалення процесу життєвого циклу (ЖЦ) програмних систем є оцінка потужності (зрілості) процесів і на цій основі розробка плану програми їх вдосконалення. До основних підходів поліпшення ПР відносяться моделі зрілості CMMI і SPICE. Проведено аналіз наукових робіт, присвячених їх формалізації. Зазначено, що значні результати в цьому напрямку досягнуто по відношенню до моделі CMMI. При цьому вона не враховує особливості ІТ-компанії, такі як: розмір компанії; моделі ЖЦ ПР ПЗ, які використовуються; особливості предметної області проектів; цілі керівників ІТ-компанії. Тому було запропоновано на базі моделі SPICE створити аналог моделі CMMI, але з урахуванням цих особливостей, який названо SPICE INT. Побудова такої моделі є задачею структурно-параметричного синтезу. Поставлена задача параметричного синтезу, один з елементів якої – планування розвитку підмножини процесів еталонної моделі SPICE. Проведена формалізація її основних понять і введено множини: груп процесів, категорій, процесів (підпроцесів), практик. На цій основі проведена формалізація оцінки рівня можливості окремої практики і на цій основі розроблено модель оцінки досягнутого рівня можливості процесу і ступеня досягнення більш високих рівнів. Синтезована функція витрат при переході підмножини процесів з $(t - 1)$ -го на t -й підперіод планування. Розроблена адитивна цільова функція, яка визначає інтегральну корисність покращення якості підмножини процесів моделі SPICE на плановому періоді $[1, T]$ в результаті розвитку ПР ПЗ. На основі цільової функції і обмежень на ресурси сформована динамічна модель планування розвитку підмножини процесів. Відзначено, що один з підходів до її вирішення є алгоритм «Київський веник».

Ключові слова: процес розробки програмного забезпечення, життєвий цикл, структурно-параметричний синтез, рівень можливості процесу, адитивна цільова функція, ресурсне обмеження, динамічна модель.

*М. Д. ГОДЛЕВСКИЙ, А. А. ГОЛОСКОКОВА, Г. А. БУРЛАКОВ***ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ПОДМНОЖЕСТВА ПРОЦЕССОВ ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ ЗРЕЛОСТИ SPICE**

Кратко рассмотрен объект исследования – процесс разработки программного обеспечения (ПР ПО). Отмечено, что первыми шагами усовершенствования процесса жизненного цикла (ЖЦ) программных систем является оценка мощности (зрелости) процессов и на этой основе разработка плана программы их усовершенствования. К основным подходам улучшения ПР относятся модели зрелости CMMI и SPICE. Проведен анализ научных работ, посвященных их формализации. Указано, что значительные результаты в этом направлении достигнуты по отношению к модели CMMI. При этом она не учитывает особенности ИТ-компания, такие как: размер компании; используемые модели ЖЦ ПР ПО; особенности предметной области проектов; цели руководителей ИТ-компания. Поэтому было предложено на базе модели SPICE создать аналог модели CMMI, но с учетом этих особенностей, который назван SPICE INT. Построение такой модели является задачей структурно-параметрического синтеза. Поставлена задача параметрического синтеза, один из элементов которой – планирование развития подмножества процессов эталонной модели SPICE. Проведена формализация ее основных понятий и введены множества: групп процессов, категорий, процессов (подпроцессов), практик. На этой основе проведена формализация оценки уровня возможности отдельной практики и на этой основе разработана модель оценки достигнутого уровня возможности процесса и степени достижения более высоких уровней. Синтезирована функция затрат при переходе подмножества процессов с $(t - 1)$ -го на t -й подпериод планирования. Разработана аддитивная целевая функция, определяющая интегральную полезность улучшения качества подмножества процессов модели SPICE на плановом периоде $[1, T]$ в результате развития ПР ПО. На основе целевой функции и ограничений на ресурсы сформирована динамическая модель планирования развития подмножества процессов. Отмечено, что один из подходов к ее решению является алгоритм «Киевский веник».

Ключевые слова: процесс разработки программного обеспечения, жизненный цикл, структурно-параметрический синтез, уровень возможности процесса, аддитивная целевая функция, ресурсное ограничение, динамическая модель.

*М. D. GODLEVSKIY, A. A. GOLOSKOKOVA, G. A. BURLAKOV***A DYNAMIC MODEL FOR DEVELOPMENT PLANNING OF PROCESS SUBSETS FOR THE SPICE REFERENCE MATURITY MODEL**

The object of the research is briefly considered, namely, the software development process (SDP). It is noted that the first steps in improving the life cycle (LC) process of software systems is to assess the capacity (maturity) of processes and, within this framework, to develop a plan for their improvement program. The main approaches to improving DP include the CMMI and SPICE maturity models. The analysis of the studies devoted to their formalization is carried out. It is indicated that significant results in this direction have been achieved in relation to the CMMI model. However, it does not consider the characteristics of an IT company, such as: the company size; used models of software DP life cycle; features of the projects subject

© М. Д. Годлевський, А. О. Голоскокова, Г. О. Бурлаков, 2020

area; IT company leaders' goals. Therefore, it was proposed to create an analogue of the CMMI model based on the SPICE model, but taking into account these features, which is called SPICE INT. The construction of such a model is the task of structural and parametric synthesis. The problem of parametric synthesis is set, one of the elements of which is the development planning for process subsets for the SPICE reference model. The formalization of its basic concepts is carried out and sets are introduced: groups of processes, categories, processes (sub-processes), practices. On this basis, the formalization of the possibility level assessment of a particular practice was carried out, and within this framework, a model was developed for assessing the achieved level of the process capability and the degree of achievement for higher levels. The cost function is synthesized for the transition of process subsets from the $(t - 1)$ -st to the t -th planning sub-period. An additive objective function has been developed that determines the integral relevance for subset quality improvement for the SPICE model processes in the planned period $[1, T]$ as a result of the development of the DP software. Based on the objective function and resource constraints, a dynamic model for planning the development of a subset of processes is formed. It is noted that one of the approaches to its solution is the "Kiev broom" algorithm.

Key words: software development process, life cycle, structural and parametric synthesis, process capability level, additive objective function, resource constraint, dynamic model

Вступ. Центральним об'єктом вивчення програмної інженерії є процес розробки (ПР) програмного забезпечення (ПЗ). Це безліч різних видів діяльності, методів, методик і кроків, які використовуються для розробки та еволюції ПЗ, і пов'язаних з цим продуктів (документації, програмного коду, тестів і т. ін.) [1]. Удосконалення діючих в організації процесів – одна з головних задач інженерії якості програмних систем (ПС). Відповідно до стандарту ISO/IEC TR 15504-7 першими кроками удосконалення процесів життєвого циклу (ЖЦ) ПС є оцінка потужності процесів і на цій основі розробка плану програми їх удосконалення. Термін «потужність» розглядається як синонім наступних понять: зрілість, досконалість, потенціал. Зрілість ПР ПЗ можна характеризувати як ступінь чіткості: визначення, управління, вимірювання, контролю і виконання усього ПР ПЗ або окремих складових.

Серед підходів до покращення ПР можна виділити такі, які базуються на стандарті ISO-9001:2000 [2], понятті моделі зрілості [3, 4], технології Six Sigma [5], та інші. Одна з головних задач по відношенню до моделей зрілості – це їх формалізація і використання не тільки для оцінки рівня зрілості окремого процесу або усього процесу розробки ПЗ, а і можливості планування їх розвитку у часі в умовах обмежених ресурсів. Це дозволяє керівництву компанії розробника ПЗ сформулювати стратегію просування фірми до більш високого рівня зрілості. На теперішній час такі дослідження, в основному, проведено по відношенню до моделі CMMI. У роботі [6] вперше наведено формалізацію основних понять моделі зрілості CMMI. Введено змінні, які визначають рівень можливості окремої практики фокусної області у t -й підперіод планування, де $t \in [1, T]$; T – кількість підперіодів планового періоду. На основі цих змінних визначається рівень можливості фокусної області і далі формується функція рівня приналежності до k -го рівня зрілості усього ПР ПЗ, де $k = \overline{1, 5}$. Роботи [7, 8] присвячені розробці та реалізації динамічної моделі планування покращення якості ПР ПЗ на плановому періоді $[1, T]$. У роботах [9, 10] розроблено метод просування ПР ПЗ організації до більш високого рівня зрілості, який базується на ковзному плануванні та дозволяє за рахунок статичної моделі підвищити точність результату, а за рахунок спрощеної динамічної моделі зменшити розмірність задачі. Першою використовується динамічна задача на плановому періоді $[1, T]$, результати якої є основою для вирішення статичної задачі на першому підперіоді планування. Далі

динамічна задача розглядається на періоді $[2, T + 1]$ з урахуванням результатів статичної задачі, яка далі розглядається вже на другому підперіоді і т. д.

Перші спроби формалізації моделі зрілості SPICE наведені у роботі [11], яка присвячена структурному синтезу моделі зрілості SPICE INTEGRATION на основі еталонної моделі SPICE. У роботі [12] наведено шляхи підвищення якості ПР ПЗ, які базуються на моделях зрілості і в першу чергу CMMI та SPICE. Все це засвідчує актуальність досліджень присвячених формалізації моделі зрілості SPICE та побудові моделей планування покращення процесів еталонної моделі зрілості SPICE.

Постановка та ціль задачі дослідження. Як було сказано вище, удосконалення існуючих в організації процесів – одна з головних задач інженерії програмного забезпечення. Внесення удосконалень проводиться з погляду цілей і пріоритетів організації розробника ПЗ. Зазвичай цілі удосконалень визначаються кількісно і погоджуються усіма зацікавленими сторонами. Далі вони оформлюються у вигляді програми удосконалення процесу або множини процесів. На теперішній час для розробки програми удосконалення формалізована модель зрілості CMMI, на базі якої сформовані моделі, алгоритми та інформаційна технологія, які дозволяють вирішити задачу планування покращення якості окремого процесу, так і всього ПР ПЗ організації. Але розроблені моделі та алгоритми, які формалізують модель CMMI, не дозволяють враховувати особливості IT-компанії [12]:

- розмір компанії розробника ПЗ;
- особливості методології управління проектами і моделі ЖЦ ПР ПЗ, які використовуються в організації;
- особливості предметної області розробки ПЗ;
- цілі IT-організації (розвиток, стабільне існування і т. ін.).

Тому будемо вважати доцільним подальшу розробку аналога моделі зрілості CMMI на базі SPICE, який будемо називати SPICE INTEGRATION (INT) [11]. Його ціль – враховувати особливості IT-організації для планування покращення якості не окремого процесу, а всього ПР ПЗ організації. Модель SPICE INT буде унікальною для кожної окремої організації і тому може використовуватися тільки для внутрішнього аудиту та раціонального (оптимального) розвитку ПР ПЗ на основі цілей керівництва компанії. Отже, сформована програма розвитку буде більш доцільною з огляду на інтереси IT-компанії у порівнянні з планом розвитку за моделлю CMMI.

Для побудови моделі зрілості SPICE INT необхідно відповідати на наступні питання:

1. Які особливості IT-компанії необхідно враховувати при побудові для неї моделі SPICE INT.
2. Який тип шкали зрілості необхідно використовувати?
3. Скільки рівнів зрілості повинна мати шкала?
4. Скільки і які процеси повинні розглядатися на кожному рівні зрілості ПП ПЗ організації?
5. Яким рівням можливості повинні відповідати процеси, які розташовані на відповідних рівнях зрілості?

Надано основні питання, але може бути безліч інших. Наприклад, яким чином визначаються пріоритети множини практик, з яких формується процес і т. ін.

Формування моделі зрілості SPICE INT є задачею структурно-параметричного синтезу. До структурного синтезу необхідно віднести визначення типу шкали, кількість рівнів зрілості і перелік процесів, які необхідно використовувати на кожному рівні. До параметричного синтезу відноситься визначення рівнів можливості окремих процесів на кожному рівні зрілості. Необхідно відрізнити побудову моделі зрілості SPICE INT і формування моделей оцінки та планування розвитку ПП ПЗ організації на її основі. Для цього необхідно сформулювати критерії розвитку ПП ПЗ різного роду обмеження, у тому числі ресурсні, пріоритети окремих практик, процесів і т. ін.

Ціллю роботи є побудова динамічної моделі планування розвитку множини окремих процесів моделі зрілості SPICE на плановому періоді $[1, T]$. Ця задача є складовою частиною структурно-параметричного синтезу формування моделі SPICE INT та синтезу моделі і алгоритму планування розвитку ПП ПЗ IT-компанії на основі SPICE INT. У вступі обґрунтована актуальність вирішення цієї задачі. Для досягнення поставленої цілі у роботі розглядаються та вирішуються такі питання:

- формалізація структури еталонної моделі зрілості SPICE;
- формалізація оцінки рівня можливості окремого процесу моделі SPICE;
- формування функції витрат при переході з $(t - 1)$ -го на t -й підперіод планування;
- синтез динамічної моделі планування розвитку підмножини процесів еталонної моделі зрілості SPICE.

Завершується робота висновками та представленням шляхів подальших досліджень у напрямку структурно-параметричного синтезу моделі SPICE INT і розробки технології планування розвитку ПП ПЗ IT-організації на основі SPICE INT.

Формалізація структури еталонної моделі зрілості SPICE. Еталонна модель SPICE може бути використана для будь-якої організації розробника ПЗ. Ця модель не залежить від певної фірми, системи управління, моделей життєвого циклу ПЗ, технологій програмування і т. ін. У роботі [12] представлена структура еталонної моделі SPICE у вигляді табл. 5. З метою її формалізації і використання у динамічній моделі планування розвитку підмножини окремих

процесів ЖЦ введемо наступні позначення. G – множина груп процесів, які в еталонній моделі представлені трьома видами: основні процеси, допоміжні процеси, організаційні процеси. В свою чергу кожна g -та група процесів, $g \in G$ складається з певної множини категорій процесів K_g . Виходячи з еталонної моделі основні процеси містять наступні категорії.

1. Customer-supplier category (CUS) – процеси, що безпосередньо пов'язані зі споживачем.

2. Engineering category (ENG) – процеси, що встановлюють вимоги до системи і програмного продукту, процеси реалізації та супроводу.

Допоміжні процеси мають одну категорію. Це – Support category (SUP), які забезпечують і підвищують продуктивність інших процесів проекту.

Організаційні процеси мають наступні категорії.

1. Management category (MAN) – процеси запуску проекту та управління його ресурсами.

2. Organization category (ORG) – процеси, що визначають бізнес-цілі організації і дозволяють їх досягти.

В свою чергу кожна категорія $k \in K_g$ містить множину окремих процесів (підпроцесів) $P_{g,k}$ і кожний процес (підпроцес) $p \in P_{g,k}$ містить множину практик $I_{g,k}^p$. Тому практика $i \in I_{g,k}^p$. Наглядна інтерпретація структури еталонної моделі SPICE представлена на рис. 1.

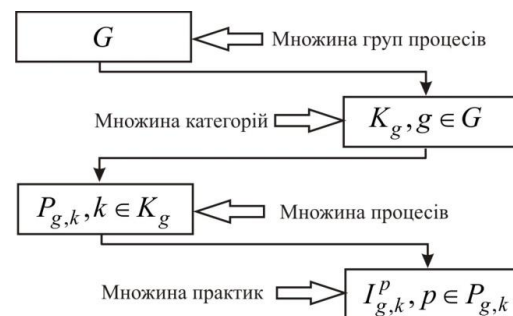


Рис. 1. Формалізація структури еталонної моделі SPICE

Формалізація оцінки рівня можливості окремого процесу моделі SPICE. Як було розглянуто вище, окремий процес містить в собі множину практик. Виконання кожної з них сприяє покращенню рівня можливості окремого процесу. Пропонується у подальшому для оцінки практик використовувати методіку оцінки рівня можливості процесу/під процесу еталонної моделі зрілості SPICE. Отже, рівень можливості процесу залежить від рівня можливості його практик і обчислюється як агрегований показник множини рівнів можливості практик, які він містить. Відповідно до [12] будемо рівень можливості окремої практики обчислювати наступним чином (табл. 1)

З метою формалізації оцінки рівня можливості окремого процесу еталонної моделі SPICE введемо дискретні змінні, які розкривають сутність позначень N, P, L, F , які наведено в табл. 1. Змінна $X_{g,k}^{pt}(i, \alpha)$ визначає ступінь володіння рисою атрибута α множини A , який відноситься до p -ї практики, i -го процесу, k -ї

категорії, g -ї групи процесів моделі SPICE у t -му підперіоді планування періоду $[1, T]$, де T – кількість підперіодів.

Таблиця 1 – Обчислення рівнів можливості окремої практики процесу моделі зрілості SPICE

Атрибути	Рівень можливості				
	1	2	3	4	5
1. Виконання практики	L/F	F	F	F	F
2. Управління виконанням		L/F	F	F	F
3. Управління робочими продуктами		L/F	F	F	F
4. Визначення практики			L/F	F	F
5. Забезпечення практики ресурсами			L/F	F	F
6. Вимірювання				L/F	F
7. Кількісне управління практикою				L/F	F
8. Зміна практики					L/F
9. Безперервне удосконалення					L/F

У нашому випадку множина A складається з дев'яти атрибутів, які наведено в табл. 1. Відповідно до табл. 6 роботи [12], в якій наведено ступінь володіння рисою окремих атрибутів, будемо вважати, що змінні $X_{g,k}^{it}(i, \alpha)$ приймають такі значення:

$$X_{g,k}^{pt}(i, \alpha) = \begin{cases} 1: N - \text{не володіє, [0\%–15\%];} \\ 2: P - \text{володіє частково, [16\%–50\%];} \\ 3: L - \text{володіє в основному, [51\%–85\%];} \\ 4: F - \text{володіє повністю, [86\%–100\%].} \end{cases} \quad (1)$$

Отже, кожний процес еталонної моделі зрілості SPICE у t -му підперіоді планування характеризується матрицею оцінок

$$X_{g,k}^{pt} = \{X_{g,k}^{pt}(i, \alpha), i \in I_{g,k}^p, \alpha = \overline{1, 9}\}, p \in P_{g,k}, k \in K_g, g \in G, t \in [1, T]. \quad (2)$$

Відповідно табл. 1 та змінній $X_{g,k}^{pt}(i, \alpha)$ введемо поняття граничної матриці оцінки рівня можливості окремої практики

$$\Lambda = \{\Lambda(\gamma, \alpha), \gamma = \overline{0, 5}, \alpha = \overline{1, 9}\}, \quad (3)$$

де γ – рівень можливості, α – номер атрибута. Додатково введено нульовий рівень можливості практики для якого всі атрибути рівні одиниці (табл. 2).

Таблиця 2 – Гранична матриця

Рівень можливості	Атрибути								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	3	1	1	1	1	1	1	1	1
2	4	3	3	1	1	1	1	1	1
3	4	4	4	3	3	1	1	1	1
4	4	4	4	4	4	3	3	1	1
5	4	4	4	4	4	4	4	3	3

Далі для кожного рівня можливості γ формується матриця «відповідності» $\Phi_{g,k}^{pt}(\gamma)$ шляхом порівняння матриці оцінок $X_{g,k}^{pt}$ та граничної матриці Λ наступним чином:

$$\Phi_{g,k}^{pt}(\gamma) = \begin{cases} \gamma \Phi_{g,k}^{pt}(i, \alpha) = \begin{cases} X_{g,k}^{pt}(i, \alpha): X_{g,k}^{pt}(i, \alpha) < \Lambda(\gamma, \alpha), \\ \Lambda(\gamma, \alpha): X_{g,k}^{pt}(i, \alpha) \geq \Lambda(\gamma, \alpha), \end{cases} \\ i \in I_{g,k}^p, \alpha = \overline{1, 9}, \\ p \in P_{g,k}, k \in K_g, g \in G, t \in [1, T], \gamma = \overline{0, 5}. \end{cases} \quad (4)$$

Вище було зазначено, що рівень можливості процесу є агрегованим показником рівнів можливості практик, які він містить. Будемо вважати, що кожна практика має свою вагу ρ_{gk}^{ip} по відношенню до агрегованого показника рівня можливості процесу. Тоді вагові коефіцієнти можуть бути обчислені на основі методології колективного експертного оцінювання (МКЕО) і задовольняють наступним умовам:

$$\rho_{g,k}^{ip} > 0 \quad \forall i \in I_{g,k}^p, \sum_{i \in I_{g,k}^p} \rho_{g,k}^{ip} = 1, p \in P_{g,k}, k \in K_g, g \in G. \quad (5)$$

Наступний крок – на основі матриць відповідності $\Phi_{g,k}^{pt}(\gamma)$ формування векторів відповідності для кожного рівня можливості γ :

$$M_{g,k}^{pt}(\gamma) = \begin{cases} M_{g,k}^{pt}(\gamma, \alpha) = \sum_{i \in I_{g,k}^p} \rho_{g,k}^{ip} \cdot \gamma \Phi_{g,k}^{pt}(i, \alpha), \\ \alpha = \overline{1, 9} \\ p \in P_{g,k}, g \in G, t \in [1, T], \gamma = \overline{0, 5}. \end{cases} \quad (6)$$

Рядки

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

граничної матриці Λ будемо називати еталонними векторами γ -рівня можливості. Пропонується вектор відповідності рівням можливості для p -го процесу еталонної моделі SPICE знаходити наступним чином:

$$\Theta_{g,k}^{pt} = \left\{ \Theta_{g,k}^{pt}(\gamma) = \frac{\|M_{g,k}^{pt}(\gamma)\|}{\|\Lambda(\gamma)\|}, \gamma = \overline{0, 5} \right\}. \quad (7)$$

Норми векторів розраховуються як Евклідові норми:

$$\|M_{g,k}^{pt}(\gamma)\| = \sqrt{\sum_{\alpha=1}^9 [M_{g,k}^{pt}(\gamma, \alpha)]^2};$$

$$\|\Lambda(\gamma)\| = \sqrt{\sum_{\alpha=1}^9 [\Lambda(\gamma, \alpha)]^2}.$$

Виходячи з розрахунку складових вектора $\Theta_{g,k}^{pt}$ кожна з них дорівнює або менше одиниці і більше нуля. Якщо γ -складова вектора $\Theta_{g,k}^{pt}$ дорівнює одиниці, то процес відповідає γ -рівню можливості. Якщо γ -складова менше одиниці, вона відповідає рівню досягнення процесом γ -рівня можливості. Отже, рівень можливості p -го процесу k -ї категорії g -ї групи процесів еталонної моделі зрілості SPICE у t -й підперіод визначається наступним чином:

$$L_{g,k}^{pt} = \begin{cases} s: \Theta_{g,k}^{pt}(\varphi) = 1, \varphi = \overline{0,5}; \Theta_{g,k}^{pt}(\lambda) < 1, \lambda = \overline{S+1,5} \\ 5: \Theta_{g,k}^{pt}(\varphi) = 1, \varphi = \overline{0,5}. \end{cases}$$

$$S = \overline{0,4}.$$

Модель планування розвитку підмножини процесів еталонної моделі зрілості SPICE. Кожна задача прийняття рішень розглядається з погляду трьох груп критеріїв:

1) перша група – рівень досягнення поставленої мети з погляду цілей системи, яка розглядається. У нашому випадку це збільшення рівня можливості підмножини процесів;

2) друга група – ресурсне забезпечення для досягнення поставленої мети. У нашому випадку фінансові витрати;

3) третя група – час, необхідний для вирішення поставленої задачі. У роботі розглядається фіксований інтервал часу – плановий період $[1, T]$.

Тому модель формується для перших двох груп критеріїв з виділенням першої з двох груп у якості основного критерію, а критерій другої групи віднесено до обмежень.

Перейдемо до розгляду питання формування критерію задачі, який фактично пов'язаний зі збільшенням рівня можливості підмножини процесів моделі SPICE впродовж планового періоду $[1, T]$. Будемо вважати, що розглядається деяка підмножина \bar{G} груп процесів, для кожної g -ї групи підмножина \bar{K}_g категорій процесів і для кожної k -ї категорії – підмножина процесів (підпроцесів) $\bar{P}_{gk} \subseteq P_{gk}$, де $\bar{G} \subseteq G$, $\bar{K}_g \subseteq K_g$. Введемо поняття інтегрального рівня можливості підмножини процесів. Виходячи з (7) кожний p -й процес досягає γ -рівень можливості при умові $\Theta_{gk}^{pt}(\gamma) = 1$. Якщо $\Theta_{gk}^{pt}(\gamma) < 1$, будемо вважати, що ступінь досягнення γ -рівня можливості p -го процесу дорівнює $\Theta_{gk}^{pt}(\gamma)$. Тоді можна вважати, що інтегральний рівень можливості p -го процесу у t -му підперіоді планування визначається наступним чином:

$$\bar{\Theta}_{gk}^{pt} = \prod_{\gamma=1}^5 \Theta_{gk}^{pt}(\gamma), p \in \bar{P}_{gk}, k \in \bar{K}_g, g \in \bar{G}, \quad t \in [1, T]. \quad (8)$$

Нульовий рівень можливості вважається досягнутим по визначенню і тому $\gamma = \overline{1,5}$.

Будемо вважати, що процесам k -ї категорії та g -ї групи; категоріям процесів g -ї групи; групам процесів, які розглядаються, еталонної моделі SPICE відповідають вектори вагових коефіцієнтів $\{\bar{\rho}_{gk}^p\}$, $\{\bar{\rho}_{gk}\}$, $\{\tilde{\rho}_g\}$, які можуть бути призначені (знайдені) на основі МКЕО і задовольняють наступним вимогам:

$$\left. \begin{aligned} \bar{\rho}_{gk}^p > 0 \quad \forall p \in \bar{P}_{gk}; \quad \sum_{p \in \bar{P}_{gk}} \bar{\rho}_{gk}^p = 1, k \in \bar{K}_g, g \in \bar{G}; \\ \bar{\rho}_{gk} > 0 \quad \forall k \in \bar{K}_g; \quad \sum_{k \in \bar{K}_g} \bar{\rho}_{gk} = 1, g \in \bar{G}; \\ \tilde{\rho}_g > 0 \quad \forall g \in \bar{G}; \quad \sum_{g \in \bar{G}} \tilde{\rho}_g = 1. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Тоді інтегральний рівень можливості підмножини процесів еталонної моделі зрілості SPICE у t -му підперіоді планування визначається наступним чином:

$$\Sigma^t = \sum_{g \in \bar{G}} \tilde{\rho}_g \sum_{k \in \bar{K}_g} \bar{\rho}_{gk} \sum_{p \in \bar{P}_{gk}} \bar{\rho}_{gk}^p \cdot \bar{\Theta}_{gk}^{pt}. \quad (10)$$

Відповідно до (2) кожний процес у t -му підперіоді характеризується матрицею оцінок. Динамічна модель формується для підмножини процесів моделі SPICE. Тому у подальшому будемо працювати з матрицями

$$\bar{X}^t = \left\{ X_{gk}^{pt}(t, \alpha), i \in I_{gk}^p, \alpha = \overline{1,9}, p \in \bar{P}_{gk}, \right. \\ \left. k \in \bar{K}_g, g \in \bar{G} \right. \\ \left. t \in [1, T] \right\}, \quad (11)$$

і вважати, що інтегральний рівень можливості є функцією від матриць оцінок і має наступний вигляд:

$$\Sigma^t = \bar{F}^t(\bar{X}^t). \quad (12)$$

Тоді приріст рівня можливості підмножини процесів моделі SPICE визначається наступним чином

$$\bar{\Phi}_t(\bar{X}^{t-1}, \bar{X}^t) = \bar{F}^t(\bar{X}^t) - \bar{F}^t(\bar{X}^{t-1}). \quad (13)$$

Чим раніше буде приріст, тим більше підперіодів він буде впливати на інтегральний рівень можливості. Тому логічно ввести вагові коефіцієнти важливості окремих підперіодів планування:

$$\xi_t > 0, \quad t \in [1, T], \quad \sum_{t \in [1, T]} \xi_t = 1. \quad (14)$$

Тоді приріст інтегрального рівня можливості записується у наступному вигляді:

$$\Phi_t(\bar{X}^{t-1}, \bar{X}^t) = \xi_t \cdot \bar{\Phi}_t(\bar{X}^{t-1}, \bar{X}^t). \quad (15)$$

У підсумку адитивна цільова функція, яка визначає показник збільшення інтегрального рівня можливості підмножини процесів на всьому плановому періоді записується наступним чином:

$$F(\bar{X}) = \sum_{t \in [1, T]} \Phi_t(\bar{X}^{t-1}, \bar{X}^t), \quad (16)$$

де $\bar{X} = \{\bar{X}^t, t \in [1, T]\}$.

Перейдемо до розгляду питання формування витрат на $(t - 1)$ -му підперіоді планування, які забезпечують приріст інтегрального рівня можливості підмножини процесів моделі SPICE, починаючи з t -го підперіода на величину, яка визначається відповідно (15). З цією метою введемо трикутні ресурсні матриці атрибутів практик, які визначають необхідні фінансові ресурси для підвищення ступеня володіння рисою окремих атрибутів. Таких ступенів володіння чотири (табл. 6 [12]). Окремі елементи цих матриць задовольняють наступним умовам:

$$\begin{aligned} r_{gk}^p(i, \alpha) [X_{gk}^{pt-1}(i, \alpha), X_{gk}^{pt}(i, \alpha)] &\geq 0: \\ X_{gk}^{pt}(i, \alpha) &> X_{gk}^{pt-1}(i, \alpha); \\ r_{gk}^p(i, \alpha) [X_{gk}^{pt-1}(i, \alpha), X_{gk}^{pt}(i, \alpha)] &= 0: \\ X_{gk}^{pt}(i, \alpha) &\leq X_{gk}^{pt-1}(i, \alpha). \end{aligned}$$

Якщо вважати, що на періоді планування $[0, 1 - T]$ будь-який атрибут практик процесів, які розглядаються, є потенційним об'єктом укладання фінансових ресурсів, тоді фінансові витрати на $(t - 1)$ -му підперіоді планування визначається наступним чином:

$$\begin{aligned} \bar{R}_t(\bar{X}^{t-1}, \bar{X}^t) &= \sum_{g \in \bar{G}} \sum_{k \in \bar{K}_g} \sum_{p \in \bar{P}_{gk}} \sum_{i \in I_{gk}^p} \sum_{\alpha=1}^9 r_{gk}^p(i, \alpha) \times \\ &\times [X_{gk}^{pt-1}(i, \alpha), X_{gk}^{pt}(i, \alpha)], \quad t \in [1, T] \end{aligned} \quad (17)$$

при умові

$$\begin{aligned} X_{gk}^{pt}(i, \alpha) &\geq X_{gk}^{pt-1}(i, \alpha), \quad \alpha = \overline{1, 9}, \quad i \in I_{gk}^p, \\ p &\in \bar{P}_{gk}, \quad k \in \bar{K}_g, \quad g \in \bar{G}, \quad t \in [1, T]. \end{aligned} \quad (18)$$

Будемо вважати, що на кожному підперіоді t на розвиток підмножини процесів моделі SPICE виділяють ресурси в об'ємі R_t і ресурси, які не використані на t -му підперіоді, можуть бути використані на наступних підперіодах планування. Тоді ресурсне обмеження записується наступним чином:

$$\sum_{\tau=1}^t \bar{R}_\tau(\bar{X}^{\tau-1}, \bar{X}^\tau) \leq \sum_{\tau=0}^{t-1} R_\tau = \hat{R}^{t-1}, \quad t \in [1, T]. \quad (19)$$

В результаті динамічна модель планування розвитку підмножини процесів еталонної моделі зрілості SPICE записується наступним чином. Знайти оптимальне значення матриці $\bar{X} = \bar{X}^*$, яке забезпечує максимальне значення критерію (16) при умовах (1), (3)–(15), (17)–(19).

Висновки, шляхи подальших досліджень. На основі поставленої мети у роботі проведено: формалізацію структури еталонної моделі зрілості SPICE; формування функції витрат при переході з $(t - 1)$ -го на t -й підперіод планування; формування цільової

функції моделі. В результаті представлена динамічна модель планування розвитку підмножини процесів еталонної моделі зрілості SPICE, на основі якої керівництво IT-компанії може сформулювати стратегію просування фірми до більш високого рівня зрілості ПР ПЗ в умовах обмежених ресурсів.

Подальші дослідження будуть присвячені структурно-параметричному синтезу моделі SPICE INT, на основі якої буде розроблено аналог моделі CMMI і використано SPICE INT для планування розвитку ПР ПЗ компанії з урахуванням її особливостей.

Список літератури

1. Кознов Д. В. *Введение в программную инженерию: учебный курс*. Санкт-Петербург: СПбГУ, 2009. 154 с.
2. Schlickman J. ISO 9001:2000 *Quality Management System Design*. Artech House, 2003. 406 p.
3. Mutafelija B. *Process improvement with CMMI v1.2 and ISO standards*. Auerbach Pubs, 2009. 406 p.
4. Chrissis M. B., Konrad M., Shrum S. *CMMI: Guidelines for Process Integration and Product Improvement*. Addison-Wesley, 2003. 688 p.
5. Pyzdek T., Keller P. A. *The Six Sigma Handbook*. 5-th Ed. New Yourk : McGraw-Hill Education, 2018. 20 p.
6. Годлевский М. Д., Шеховцов В. А., Брагинский И. Л. Принципы моделирования оценки и управления качеством процесса разработки программного обеспечения. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. Харьков, 2012, № 5/3 (59). С. 45–49.
7. Годлевский М. Д., Брагинский И. Л. Динамическая модель и алгоритм управления качеством процесса разработки программных систем на основе модели зрелости. *Проблемы информационных технологий*. Херсон: ОЛДИ-Плюс, 2012. С. 6–13.
8. Годлевский М. Д., Брагинский И. Л. Информационная технология управления качеством процесса разработки программного обеспечения. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. Харьков, 2013, № 2/9 (62). С. 63–67.
9. Годлевский М. Д., Голоскокова А. А. Синтез статических моделей планирования улучшения качества процесса разработки программного обеспечения. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. Харків, 2015. № 3/2 (75). С. 23–29.
10. Годлевский М. Д., Рубин Э. Е., Голоскокова А. А. Динамическая модель планирования улучшения качества процесса разработки программного обеспечения. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. Харків: НТУ «ХПІ», 2015. № 58 (1167). С. 3–6.
11. Рубин Э. Е., Годлевский М. Д., Бараш В. С. Структурный синтез модели зрелости SPICE INTEGRATION. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. Харків: НТУ «ХПІ», 2015. № 58 (1167). С. 77–81.
12. Годлевский М. Д., Гончаренко Т. С., Бурлаков Г. О., Малець Д. К. Шляхи підвищення якості процесу розробки програмного забезпечення на основі моделей зрілості. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. Харків: НТУ «ХПІ», 2019. № 2. С. 63–69.

References (transliterated)

1. Koznov D. V. *Vvedeny'e v programnuyu y'nzheneriy'u: uchebnyy kurs* [Introduction to software engineering: a training course]. Sankt-Peterburg: SPbGU Publ., 2009. 154 p.
2. Schlickman J. ISO 9001:2000 *Quality Management System Design*. Artech House, 2003. 406 p.
3. Mutafelija B. *Process improvement with CMMI v1.2 and ISO standards*. Auerbach Pubs, 2009. 406 p.
4. Chrissis M. B., Konrad M., Shrum S. *CMMI: Guidelines for Process Integration and Product Improvement*. Addison-Wesley, 2003. 688 p.
5. Pyzdek T., Keller P. A. *The Six Sigma Handbook*. 5-th Ed. New Yourk : McGraw-Hill Education, 2018. 20 p.

6. Hodlevskyy M. D., Shekhovtsov V. A., Brahnyskyy Y. L. Pryntsyyp modelyrovanyya otsenky y upravlenyya kachestvom protsessu razrabotky prohrammnoho obespechenyya [Principles of modeling evaluation and quality management of the software development process]. *Vostochno-Evropeyskyy zhurnal peredovykh tekhnolohyy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]. Khar'kov, 2012, no. 5/3 (59), pp. 45–49
7. Hodlevskyy M. D., Brahnyskyy Y. L. Dynamicheskaya model' y alhorytm upravlenyya kachestvom protsessu razrabotky prohrammnykh system na osnove modely zrelosti [Dynamic model and algorithm for quality management of the software systems development process based on the maturity model]. *Problemy ynformatsyonnykh tekhnolohyy* [Information Technology Issues]. Kherson: OLDY-Plyus Publ., 2012, pp. 6–13.
8. Hodlevskyy M. D., Brahnyskyy Y. L. Ynformatsyonnaya tekhnolohyya upravlenyya kachestvom protsessu razrabotky prohrammnoho obespechenyya [Information technology for quality management of the software development process]. *Vostochno-Evropeyskyy zhurnal peredovykh tekhnolohyy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]. Khar'kov, 2013, no. 2/9 (62), pp. 63–67.
9. Hodlevskyy M. D., Holoskokova A. A. Syntez statycheskykh modeley planyrovanyya uluchshenyya kachestva protsessu razrabotky prohrammnoho obespechenyya [Synthesis of static planning models for improving the quality of the software development process]. *Skhidno-Yevropeys'kyy zhurnal peredovykh tekhnolohiy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]. Kharkiv, 2015, no. 3/2 (75), pp. 23–29.
10. Hodlevskyy M. D., Rubyn E. E., Holoskokova A. A. Dynamicheskaya model' planyrovanyya uluchshenyya kachestva protsessu razrabotky prohrammnoho obespechenyya [Dynamic planning model for improving the quality of the software development process]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriya: Systemnyy analiz, upravlinnya ta informatsiyi tekhnolohiyi* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2015, no. 58 (1167), pp. 3–6.
11. Rubyn E. E., Hodlevskyy M. D., Barash V. S. Strukturnyy syntez modeley zrelosti SPICE INTEGRATION [Structural synthesis of the SPICE INTEGRATION maturity model]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriya: Systemnyy analiz, upravlinnya ta informatsiyi tekhnolohiyi* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology]. Kharkov : NTU «KhPI» Publ., 2015, no. 58 (1167), pp. 77–81.
12. Hodlevskyy M. D., Honcharenko T. Ye., Burlakov H. O., Malets' D. K. Shlyakhy pidvyshchennya yakosti protsesu rozrobky prohrammnoho zabezpechennya na osnovi modeley zrilosti [Ways to improve the quality of the software development process based on maturity models]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriya: Systemnyy analiz, upravlinnya ta informatsiyi tekhnolohiyi* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology]. Kharkov : NTU «KhPI» Publ., 2019, no. 2, pp. 63–69.

Hadziuzna(received) 21.09.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Годлевський Михайло Дмитрович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2872-0598>; e-mail: god_asu@kpi.kharkov.ua.

Голоскокова Анна Олександрівна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Програмна інженерія та інформаційні технології управління»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9012-7889>; e-mail: Anna.Goloskokova@khpi.edu.ua

Бурлаков Георгій Олександрович – «SheerChain» ОУ, головний виконуючий директор; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0423-6024>; e-mail: george@sheerchain.com.

Годлевский Михаил Дмитриевич – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующий кафедрой программной инженерии и информационных технологий управления; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2872-0598>; e-mail: god_asu@kpi.kharkov.ua.

Голоскокова Анна Александровна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры «Программная инженерия и информационные технологии управления»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9012-7889>; e-mail: Anna.Goloskokova@khpi.edu.ua

Бурлаков Георгий Александрович – «SheerChain» ОУ, главный исполнительный директор; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0423-6024>; e-mail: george@sheerchain.com.

Godlevskiy Mykhaylo Dmytrovych – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Head of Department of Software Engineering and Management Information Technologies; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2872-0598>; e-mail: god_asu@kpi.kharkov.ua.

Goloskokova Anna A. – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor of the "Software Engineering and Management Information Technologies" department; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9012-7889>; e-mail: Anna.Goloskokova@khpi.edu.ua

Burlakov Heorhii Oleksandrovych – «SheerChain» ОУ, Chief Executive Officer; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0423-6024>; e-mail: george@sheerchain.com.