

*М. Д. ГОДЛЕВСЬКИЙ, Д. К. МАЛЕЦЬ*

## СИНТЕЗ ФУНКЦІЇ КОРИСНОСТІ ПРОЦЕСУ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІТ-КОМПАНІЇ НА ОСНОВІ ЕТАЛОННОЇ МОДЕЛІ SPICE

У роботі виділено два типи складних систем: «реальні системи» і «віртуальні системи». Перші є об'єктом дослідження комп'ютерних наук, а другі – інженерії програмного забезпечення. До останніх відносяться програмні системи (ПС) і процес розробки програмного забезпечення (ПР ПЗ), який є об'єктом наукового дослідження роботи. ПР ПЗ відноситься до цілеспрямованих систем. В таких системах на основі поставлених цілей виникає задача синтезу їх структури (окремі елементи і відношення між ними), яка спрямована на досягнення поставлених цілей, пов'язаних з якістю ПР ПЗ. Вважається, що успіх розробки ПС безпосередньо залежить від якості ПР ПЗ. У роботі розглядається проблема оцінки і покращення ПР ПЗ на основі двох моделей зрілості: СММІ, SPICE. Для обох моделей використовується бальна шкала першого типу, коли оцінка проводиться за об'єктивними критеріями, так що індивідуальні оцінки є деякими флуктуаціями реальних значень. При цьому є загальноприйнятні еталони, що відповідають градаціям бальної шкали. Основна складова моделі СММІ – фокусна область, яка характеризується «рівнем можливості» в бальній шкалі від 0 до 3. Основна складова моделі SPICE – процес, який характеризується «рівнем можливості» в бальній шкалі від 1 до 5. Для дискретного варіанта моделі СММІ використовується поняття «рівень зрілості», завдяки якому проводиться оцінка якості ПР ПЗ всієї ІТ-організації. Проведено формалізацію моделі і реалізовані статична та динамічна моделі планування розвитку ПР ПЗ ІТ-організації, які інтегровані в єдину технологію «ковзаного» планування. Одним з основних недоліків дискретного варіанта моделі СММІ є те, що він не враховує особливості діяльності ІТ-організації. З іншої сторони, модель SPICE не дозволяє проводити оцінку всього ПР ПЗ ІТ-організації. Тому було запропоновано синтез дискретної моделі зрілості на основі еталонної моделі SPICE. Основна її ціль – мінімізувати основні вади моделі СММІ. З цією метою було запропоновано використання теорії корисності. Сформована ієрархічна структура критеріїв, на основі яких проводиться синтез функції корисності. Попередньо на рівні окремого процесу формалізована модель SPICE і на цій основі визначена структура функції корисності. З огляду на фундаментальні властивості систем представлено тренд її зміни від використання ресурсів. Далі експерти зіставляють характеристики процесів моделі SPICE і ІТ-компанії з погляду важливості процесів для зростання рівня зрілості ПР ПЗ. Ця інформація від експертів надається аналітикам, які розташовують процеси у чергу залежно від важливості з погляду функції корисності.

**Ключові слова:** програмна система, процес розробки програмного забезпечення, модель зрілості, бальна шкала, теорія корисності, дискретна модель зрілості, експерти, аналітики.

*M. D. GODLEVSKYI, D. K. MALETS*

## SYNTHESIS OF THE UTILITY FUNCTION OF THE IT COMPANY'S SOFTWARE DEVELOPMENT PROCESS BASED ON THE SPICE REFERENCE MODEL

The work distinguishes two types of complex systems: "real systems" and "virtual systems". The first ones are the object of computer science research, and the second ones are the object of software engineering. The latter include software systems (SS) and the software development process (SDP), which is the object of scientific work research. SDP refers to goal-oriented systems. In such systems, on the basis of the set goals, the task of synthesizing their structure (individual elements and the relationship between them) arises, which is aimed at achieving the set goals related to the quality of SDP. It is believed that the success of SS development directly depends on the quality of SDP. The work considers the problem of assessment and improvement of SDP on the basis of two maturity models: SMMI, SPICE. Both models use a point scale of the first type, when the assessment is made according to objective criteria, so that individual assessments are some fluctuations of the real values. At the same time, there are generally accepted standards that correspond to the gradations of the point scale. The main component of the SMMI model is the focal area, which is characterized by the "level of opportunity" on a point scale from 0 to 3. The main component of the SPICE model is a process characterized by a "level of possibility" on a point scale from 1 to 5. For the discrete version of the SMMI model, the concept of "maturity level" is used, thanks to which the quality of the SDP of the entire IT organization is assessed. The formalization of the model was carried out and static and dynamic planning models of the SDP of the IT organization have been implemented, which are integrated into a single technology of "sliding" planning. One of the main disadvantages of the discrete version of the SMMI model is that it does not take into account the specifics of the IT organization activity. On the other hand, the SPICE model does not allow for the assessment of the entire SDP of the IT organization. Therefore, a synthesis of a discrete maturity model based on the SPICE reference model was proposed. Its main goal is to minimize the main drawbacks of the SMMI model. For this purpose, the use of utility theory was proposed. A hierarchical structure of criteria is formed, on the basis of which the utility function is synthesized. Previously, at the level of a separate process, the SPICE model was formalized and the structure of the utility function was determined on this basis. Taking into account the fundamental properties of the systems, the trend of its change based on the used resources is presented. Next, the experts compare the characteristics of the processes of the SPICE model and the IT company from the point of view of the importance of the processes for increasing the level of maturity of the SDP. This information from the experts is provided to the analysts, who place the processes in a queue depending on the importance from the point of view of the utility function.

**Keywords:** software system, software development process, maturity model, point scale, utility theory, discrete maturity model, experts, analysts.

**Вступ.** З погляду характеристик складних систем виділимо два їх типи: «реальні системи», «віртуальні системи». До «реальних систем» будемо відносити будь-які системи, що існують в реальному світі. Це можуть бути суто технічні, соціальні, техніко-економічні системи, такі як: конкретне підприємство, технологічний процес, буд-яка інша складна система. Вважається, що такі системи є об'єктом дослідження

комп'ютерних наук. До «віртуальних систем» будемо відносити різного роду програмні системи (ПС) і процес розробки програмного забезпечення (ПР ПЗ) [1, 2]. Вважається, що об'єктом дослідження таких систем є інженерія програмного забезпечення. З погляду теорії прийняття рішень інтерес представляють цілеспрямовані системи, які ставлять перед собою цілі, або перед якими ставляться цілі для виконання. Зазвичай виникає

© М. Д. Годлевський, Д. К. Малець, 2022



Дослідницька стаття: Цю статтю опубліковано видавництвом *НТУ «ХПІ»* у збірнику «Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології». Ця стаття поширюється за міжнародною ліцензією [Creative Common Attribution \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). **Конфлікт інтересів:** Автор/и заявив/или про відсутність конфлікту.



задача оцінки систем з погляду досягнення поставлених цілей. Це може бути задача синтезу такої системи, яка найкраще реалізує поставлені цілі. Вирішення цієї проблеми реалізується шляхом використання теорії прийняття рішень, яка є частиною системного аналізу та теорії систем.

У роботі об'єктом дослідження є ПР ПЗ, основною метою якого є розробка ПС на основі функціональних та нефункціональних вимог. Тому розглянемо загальне визначення цілеспрямованої системи, бо тільки для таких систем виникає проблема прийняття рішень. Під системою будемо розуміти множину однорідних або різнорідних елементів  $M$ , на якій реалізовано деяку множину відносин  $R$ . Ці відносини впорядковують елементи в структуру, яка володіє деяким набором властивостей, що дозволяє досягти заданої мети. Отже, впорядковані множини елементів і відносин між ними утворюють певну структуру  $C = \{M, R\}$ . Якщо мета системи задана, то розв'язується задача усвідомленого (цілеспрямованого) синтезу системи з властивостями  $P$ , які забезпечують досягнення мети. Ця задача полягає у визначенні підмножини елементів  $M$  і відносин  $R$ , що утворюють множину варіантів структур  $C$  із заданими властивостями  $P$ . Отже, цілеспрямована система може бути визначена як впорядкована множина  $S = (\{M, R\}, P)$ . Отже, з погляду теорії систем, мета наукової роботи – сформувати ПР ПЗ з множини  $M$  окремих елементів і визначити множину  $R$  відносин між ними, які утворюють певну структуру системи з властивостями  $P$ . Досягнення ПР ПЗ деяких властивостей  $P$  – це результат сукупності дій, які спрямовані на покращення характеристик ПР. При цьому необхідно підкреслити, що показниками успіху цих дій є множина  $P$  властивостей ПР, а не сама ПС. Вважається, що успіх розробки ПС безпосередньо залежить від якості ПР ПЗ. В роботі будемо розглядати проблему оцінки і покращення якості ПР ПЗ на основі двох основних моделей зрілості [3–5]:

- Capability Maturity Model Integration – CMMI;
- Software Process Improvement and Capability dEtermination – SPICE.

При порівнянні окремих об'єктів, з погляду визначення кращого, використовуються різного роду критерії, для кожного з яких визначається шкала, на якій проводиться оцінка значення відповідного критерія. Шкали критеріїв бувають двох типів: якісні, кількісні. Якісні шкали поділяються на шкали найменувань (номінальні) і шкали порядку (рангові). Розрізняються три типи кількісних шкал: шкали інтервалів, шкали відношень (подібності), абсолютні шкали. До окремого підкласу шкал порядку відносяться бальні шкали, які на відміну від кількісних оцінок, відповідних, зазвичай, об'єктивним вимірам показників, використовують експертні оцінки (суб'єктивні думки фахівців). Відрізняються два види бальних оцінок. У першому випадку оцінка проводиться за об'єктивним критерієм, так що індивідуальні оцінки є деякими флуктуаціями

реальних значень. Зазвичай при цьому є загальноприйнятні еталони, що відповідають градаціям шкали, з якими порівнюються об'єкти, які розглядаються. Бальна оцінка другого виду використовується, коли не тільки немає загальноприйнятних еталонів, а й сумнівна сама наявність якогось єдиного об'єктивного критерію, суб'єктивними відображеннями якого є оцінки. В моделях зрілості CMMI та SPICE використовуються бальні шкали першого типу. Основною складовою моделі зрілості CMMI є фокусна область, кожна з яких описує якість окремого процесу організації на основі рівнів можливості, які визначаються в балах від 0 до 3. Характеристика (еталон) кожного рівня можливості наведена в [6]. Для еталонної моделі SPICE також основною складовою є процес, кожний з яких має своє призначення і характеризується поняттям «можливість», яке містить набір атрибутів [6]. Атрибути процесів це їх риси, які оцінюються за відповідною шкалою ([6], табл. 6), на якій визначається ступінь володіння процесом відповідною рисою. Сукупність атрибутів процесу з відповідними ступенями володіння рисами на основі алгоритму, який наведено в [6], табл. 7 визначає рівень можливості в бальній шкалі від 1 до 5.

**Постановка та мета задачі дослідження.** Бальна шкала оцінки рівня можливості окремої фокусної області моделі CMMI в роботі [7] була використана для окремої практики фокусної області і запропонована оцінка рівня можливості фокусної області на основі згортки оцінок її окремих практик з урахуванням їх вагових коефіцієнтів важливості щодо фокусної області, в яку вони входять. Модель CMMI реалізована в двох варіантах – дискретний і безперервний. Вище наведено використання бальної шкали оцінки для безперервного варіанта, завдяки якій реалізована оцінка окремої фокусної області шляхом поняття «рівень можливості». Для дискретного варіанта використано поняття «рівень зрілості», завдяки якому оцінюється якість ПР ПЗ усієї організації. Рівні зрілості ПР ПЗ формуються у такий спосіб. Перший рівень вважається виконаним для будь-якої працездатної ІТ-компанії. Наступний другий рівень складається з деякої множини фокусних областей, на якому необхідно, щоб усі фокусні області досягли другого рівня можливості. На третьому рівні зрілості додаються нові фокусні області і всі вони повинні досягти третього рівня можливості. На четвертому і п'ятому рівнях зрілості також додаються нові фокусні області, які теж повинні мати третій рівень можливості. У роботах [8, 9] реалізовані статична та динамічна моделі планування розвитком ПР ПЗ ІТ-організації, які інтегровано в єдину технологію «ковзного» планування. Такий підхід дозволяє сформувати траєкторію розвитку ПР ПЗ на деякому плановому періоді, яка використовується для синтезу статичної більш детальної моделі на першому підперіоді планування. Реалізація такого підходу [10, 11], завдяки розробленій інформаційній технології, дозволяє керівництву ІТ-компанії раціонально використовувати фінансові ресурси для просування організації на плановому періоді до більш високого рівня зрілості ПР ПЗ. Одним з основних недоліків дискретного варіанта

моделі CMMI є те, що він не враховує особливості діяльності IT-організації.

У роботі [12] щодо еталонної моделі SPICE проведена формалізація оцінки рівня можливості окремого процесу моделі. Введені дискретні змінні, які визначають ступінь володіння рисою окремого атрибута, який відноситься до відповідної практики деякого процесу моделі SPICE. На цій основі запропоновано алгоритм оцінки рівня можливості окремого процесу, який базується на оцінках атрибутів окремих практик процесу і вагових коефіцієнтах важливості практик, які належать процесу. Це дозволило сформулювати модель планування розвитку підмножини процесів еталонної моделі SPICE на деякому плановому періоді в умовах обмежених фінансових ресурсів. Отже, керівництво IT-компанії має можливість сформулювати своє бачення стосовно рівнів можливості підмножини процесів на кінець планового періоду і синтезувати траєкторію руху до бажаної мети.

Необхідно підкреслити, що синтезована модель не дає можливості провести оцінку рівнів зрілості всього ПР ПЗ і тим паче сформулювати траєкторію розвитку ПР ПЗ IT-організації з урахуванням недоліків, які притаманні дискретній моделі CMMI. Тому метою роботи є розробка першого наближення (облікових характеристик) технології побудови дискретної моделі модифікації SPICE, яку далі будемо називати SPICE INTEGRATION (INT). На відмінну від CMMI вона повинна урахувати:

- основні цілі IT-компанії з погляду розвитку;
- моделі життєвого циклу ПР ПЗ;
- особливості методологій управління проектами;
- особливості та специфіку предметної області, в якій працює IT-компанія;
- розмір IT-компанії і т. ін.

#### Оцінка ПР ПЗ на основ функцій корисності.

Труднощі проблеми оцінювання ПР ПЗ як об'єкта дослідження полягають в тому, що він характеризується багатьма показниками (критеріями) і неможливо вибрати єдиний критерій, який досить повно характеризує цей об'єкт. У зв'язку з цим виникає необхідність:

1) формування множини локальних критеріїв, які досить повно відображають усі значущі характеристики ПР ПЗ;

2) вибору на множині локальних критеріїв метрики, що дозволяє встановлювати на множині варіантів реалізації ПР ПЗ відношення порядку.

Розглянемо методологічні підстави розв'язання кожної з цих задач. Функціональна досконалість ПР ПЗ як цілеспрямованої віртуальної системи визначається ступенем досягнення мети, яка визначається низкою критеріїв. У сукупності вони характеризують функціональну досконалість (ефект) кожного з можливих варіантів об'єкта дослідження. У нашому випадку кожний локальний критерій відноситься до окремого процесу еталонної моделі SPICE. У роботі розглядається множина індексів процесів (підпроцесів)

$$\bar{P} = \bigcup_{g \in G} \bigcup_{k \in K_g} P_{gk}$$

де:  $G$  – множина груп процесів;  $K_g$  – множина категорій процесів  $g$ -ї групи, де  $g \in G$ ;  $P_{gk}$  – множина індексів окремих процесів (підпроцесів), де  $k \in K_g$ .

Далі будемо вважати, що  $x_p$  – окремих  $p$ -й процес, де  $p \in \bar{P}$ , а  $X = \{x_p, p \in \bar{P}\}$  – множина процесів.

Теоретичною основою формування багатокритеріальних скалярних оцінок є теорія корисності [13], яка передбачає існування кількісної оцінки переваги окремих альтернатив. Це означає, що, якщо альтернативний варіант ПР ПЗ  $X_1$  переважає альтернативний варіант  $X_2$ , то  $\bar{F}(X_1) > \bar{F}(X_2)$ , де  $\bar{F}(X_1)$ ,  $\bar{F}(X_2)$  – функції корисності. У загальному випадку справедливо і зворотне твердження. Отже, корисність є кількісною мірою «якості» рішень. У зв'язку з цим виникає задача обґрунтування правила (метрики), за яким формується функція корисності в просторі множини локальних критеріїв  $\{f_i(X), i \in \bar{P}\}$ .

Розглянемо системологічні підстави вибору метрики функції корисності. Синтез будь-якої математичної моделі, у тому числі і функції корисності для визначення якості (зрілості) ПР ПЗ, передбачає необхідність рішення двох взаємопов'язаних задач: структурної, параметричної ідентифікації. Перша з них передбачає: 1) визначення значущих чинників, які впливають на вихідні дані моделі; 2) визначення структури, тобто виду оператора, який встановлює зв'язок між вхідними та вихідними даними моделі. Друга задача полягає у визначенні конкретних кількісних значень параметрів моделі.

Усі локальні критерії описують різні властивості об'єкта дослідження, його елементи і відношення, і в загальному випадку мають різну розмірність, важливість, інтервали і шкали вимірювання. У результаті стоїть проблема синтезу функції корисності, яка грає роль моделі оцінювання ПР ПЗ

$$\bar{F}(X) = \hat{F}\left(J\{\alpha_j\}, \{f_i(X), i \in \bar{P}\}\right)$$

і потребує рішення наступних задач:

1) нормалізації, тобто приведення до ізоморфного виду всіх локальних критеріїв  $f_i(X)$ ; 2) визначення структури моделі, тобто ідентифікації виду оператора  $\hat{F}$ ; 3) розробки методів параметричної ідентифікації моделі, тобто методів отримання від особи, що приймає рішення інформації про коефіцієнти взаємної важливості  $J\{\alpha_j\}$  локальних критеріїв  $f_i(X)$ .

**Синтез функції корисності ПР ПЗ на основі еталонної моделі SPICE.** Перейдемо безпосередньо від загального підходу до формування функції корисності оцінки ПР ПЗ IT-компаній до її побудови на основі еталонної моделі зрілості SPICE. Будемо вважати, що функція корисності дорівнює одиниці, коли ПР ПЗ використовує всі процеси моделі SPICE і

кожний з них має максимальний рівень можливості, який дорівнює п'яти балам. Ієрархічну структуру критеріїв, на основі якої пропонується формувати функцію корисності, наведено на рис. 1.

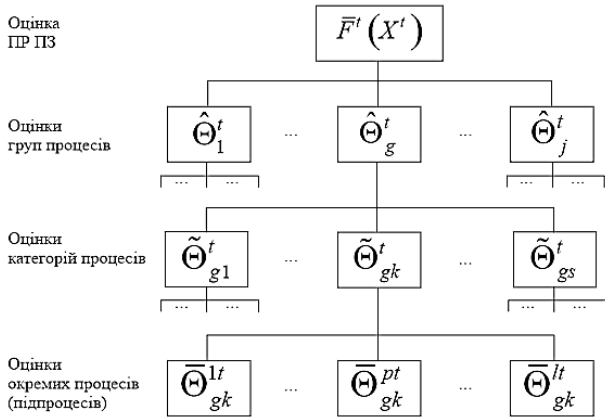


Рис. 1. Ієрархічна структура критеріїв

Перший рівень ієрархії відповідає фокусу проблеми, а саме функції корисності всього ПР ПЗ ІТ-компанії. На другому рівні знаходяться групи процесів еталонної моделі SPICE, на третьому рівні – категорії процесів, а на четвертому безпосередньо критерії, яким відповідають окремі процеси (підпроцеси). Як було підкреслено вище, кожний процес може мати рівень можливості в бальній шкалі від 1 до 5 залежно від оцінок його атрибутів. Перейдемо до розгляду питання представлення локальних критеріїв у ізоморфному виді в межах від 0 до 1. На рис. 1 вся множина критеріїв  $\{f_i(X), i \in \bar{P}\}$  представлена як ієрархія, на основі якої, як це було підкреслено вище, визначається структура моделі. У роботі [12] для кожного процесу (підпроцесу) на плановому підперіоді  $t$  введено змінні  $\Theta_{gk}^{pt}(\gamma) \in (0,1]$ , які визначають рівень досягнення  $\gamma$  рівня можливості  $p$ -го процесу, який належить  $k$ -й категорії  $g$ -ї групи процесів еталонної моделі SPICE. Наприклад, якщо  $\gamma = 1$  і  $\Theta_{gk}^{pt}(1) = 1$ , це означає, що процес має рівень можливості одиниця. Рівень можливості два він досягає, коли  $\Theta_{gk}^{pt}(2) = 1$  і далі рівень можливості п'ять означає, що  $\Theta_{gk}^{pt}(5) = 1$ . Пропонується перетворення бальної шкали критеріїв у ізоморфну шкалу, де значення критеріїв належать інтервалу  $(0,1]$ . Для цього введемо таке перетворення

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

У цьому випадку, якщо  $\Theta_{gk}^{pt}(1) = \Theta_{gk}^{pt}(2) = \dots = \Theta_{gk}^{pt}(5) = 1$ , то  $\bar{\Theta}_{gk}^{pt} = 1$ .

На основі метода парних порівнянь Сааті визначаються вагові коефіцієнти важливості  $\{\bar{\rho}_{gk}^p, p \in P_{gk}\}$ , де  $k \in K_g, g \in G$ , які задовольняють умові

$$\bar{\rho}_{gk}^p > 0 \forall p \in P_{gk}; \sum_{p \in P_{gk}} \bar{\rho}_{gk}^p = 1.$$

Вагові коефіцієнти  $\{\bar{\rho}_{gk}, k \in K_g\}$  також визначаються на основі метода парних порівнянь Сааті, де  $g \in G$ . Вони задовольняють умові

$$\bar{\rho}_{gk} > 0 \forall k \in K_g; \sum_{k \in K_g} \bar{\rho}_{gk} = 1.$$

Вагові коефіцієнти  $\{\tilde{\rho}_g, g \in G\}$  визначають важливості окремих груп процесів еталонної моделі SPICE, визначаються аналогічно тим, які розглянуто вище, і задовольняють умові

$$\tilde{\rho}_g > 0 \forall g \in G; \sum_{g \in G} \tilde{\rho}_g = 1.$$

Тоді функція корисності на  $t$ -му підперіоді планування визначається у такий спосіб

$$\bar{F}^t(X^t) = \sum_{g \in G} \tilde{\rho}_g \sum_{k \in K_g} \bar{\rho}_{gk} \sum_{p \in P_{gk}} \bar{\rho}_{gk}^p \cdot \bar{\Theta}_{gk}^{pt}.$$

Однією з основних задач нашого дослідження є розробка раціональної стратегії просування ПР ПЗ ІТ-компанії до більш високого рівня якості (зрілості) за рахунок використання різного роду ресурсів (фінансові, людські і т. ін.). Тому будемо використовувати фундаментальну властивість систем [14], згідно з якою залежність зростання корисності (якості, зрілості) будь-якої складної системи від використаних ресурсів на всьому інтервалі життєвого циклу може бути описана деякою логістичною кривою, яка має S-образний характер (рис. 2). Відповідно до рисунку 2 область зміни функції корисності можна поділити на три інтервали. Перший інтервал  $[0, L_1]$ , на якому залежно від виділених ресурсів якість ПР ПЗ зростає доволі повільно і ми маємо функцію корисності опуклу донизу. Другий інтервал належить відрізку  $[L_1, L_2]$  і функція корисності ближче за все відповідає лінійній залежності. Третій інтервал – це відрізок  $[L_2, 1]$ . Він відповідає опуклій вгору монотонній залежності від виділених ресурсів. Корисності, яка дорівнює одиниці, відповідає ПР ПЗ, який має в своєму розпорядженні всі процеси з максимальним рівнем можливості, який дорівнює 5 балам.

Перейдемо до розгляду питання формування функції корисності залежно від ресурсів, які направлені на зростання її рівня та виявлення відповідних цим ресурсам конкретних процесів і їх рівнів можливості. Будемо розглядати це питання з урахуванням того, що функція корисності формується для конкретної ІТ-компанії з відповідними характеристиками. Експерти можуть зіставити характеристики процесів моделі SPICE і характеристики ІТ-компанії з погляду важливості процесів моделі для зростання рівня зрілості ПР ПЗ. Ця інформація від експертів надається аналітикам (особам, що формують рішення – ОФР, рис. 2), які розташовують процеси у чергу залежно від важливості з урахуванням тренду зміни функції корисності (як логістичної кривої).

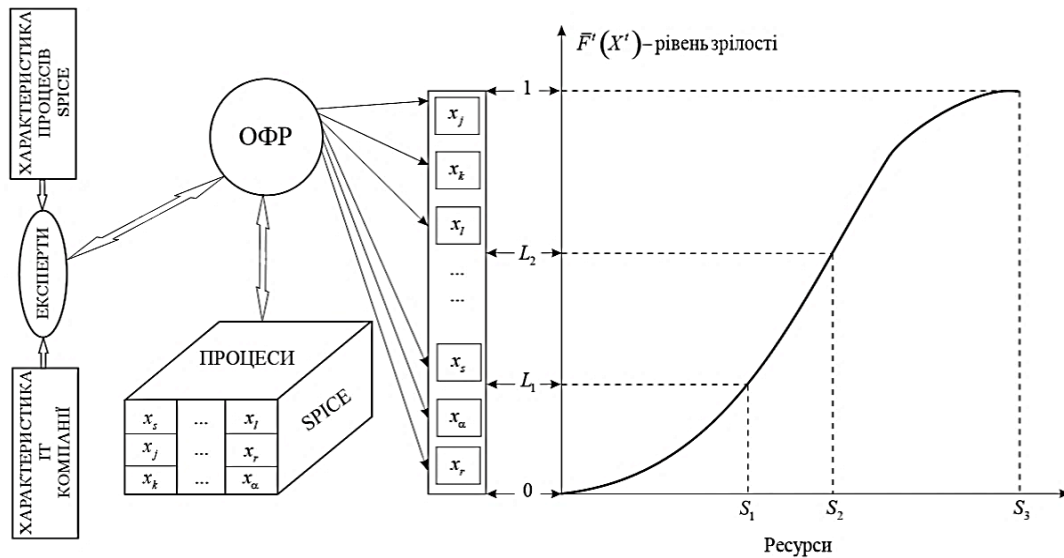


Рис. 2. Синтез функції корисності процесу розробки програмного забезпечення ІТ-компанії на основі еталонної моделі SPICE

**Висновки, шляхи подальших досліджень.** У роботі підкреслено, що об'єктом дослідження є ПР ПЗ і успіх розробки ПЗ безпосередньо залежить від його якості. Базовими для покращення якості ПР ПЗ виділені моделі зрілості CMMI та SPICE, які базуються на використанні бальних шкал першого типу. Такі шкали мають загальноприйнятні еталони, яким відповідають градації шкали. Тому оцінки експертів є деякими флуктуаціями еталонних значень. Підкреслені вади дискретної моделі CMMI, які пов'язані з відсутністю урахування особливостей ПР ПЗ ІТ-компанії. Тому запропоновано врахувати ці вади завдяки побудові дискретної моделі SPICE INT на основі синтезу функції корисності еталонної моделі SPICE, основні принципи побудови якої запропоновані у роботі.

Подальші дослідження будуть присвячені вирішенню наступних проблем:

- на основі зіставлення характеристик ІТ-компанії та окремих процесів еталонної моделі SPICE розробка технології упорядкування процесів з погляду їх важливості для підняття рівня зрілості ПР ПЗ;
- формування експертних оцінок необхідних фінансових витрат на підняття рівня володіння окремих практик відповідними рисами атрибутів;
- визначення важливості окремих практик в межах процесу, якому вони належать;
- на основі необхідних фінансових витрат на підняття рівня можливості окремих процесів і тренду зміни функції корисності (рис. 2) визначення необхідних рівнів можливості окремих процесів залежно від рівня покращення функції корисності;
- визначення кількості рівнів зрілості дискретної моделі SPICE INT;
- визначення конкретних процесів моделі SPICE, які повинні розглядатися на кожному рівні зрілості.

#### Список літератури

1. Madachy R. J. *Software process dynamics*. Hoboken, NJ: IEEE Press, Wiley Interscience, 2008. 601 p.
2. Li T. *An Approach to Modelling Software Evolution Processes*. Berlin–Heidelberg: Springer, 2008. 213 p.
3. Chrissis M. B., Konrad M., Shrum S. *CMMI: Guidelines for Process Integration and Product Improvement*. Addison–Wesley, 2003. 688 p.
4. Ahern D. M., Clouse A., Turner R. *CMMI Distilled: A Practical Introduction to Integrated Process Improvement*. Addison–Wesley, 2008. 288 p.
5. Оценка и аттестация зрелости процессов создания и сопровождения программных средств и информационных систем (ISO/IEC TR 15504-CMM). Москва: Книга и бизнес, 2001. 348 с.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Годлевский М. Д., Голоскокова А. А. Синтез статических моделей планирования улучшения качества процесса разработки программного обеспечения. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. Харків: Технологічний центр, 2015, № 3/2 (75). С. 23–29.
10. 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». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. Харків: НТУ «ХПІ», 2017. № 51 (1272). С. 32–37.
11. Godlevskiy M. D., Goloskokova A. A., Bielous O. S. Information technology of a static model solving for quality improvement of the software development process based on the CMMI model. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та*



- інформаційні технології. Харків: НТУ «ХПІ», 2017. № 55 (1276). С. 26–30.
12. Годлевський М. Д., Голоскокова А. О., Бурлаков Г. О. Динамічна модель планування розвитку підмножини процесів еталонної моделі зрілості SPICE. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. Харків: НТУ «ХПІ», 2020. № 2 (4). С. 10–16.
  13. Фишберн П. *Теория полезности принятия решений*. Москва: Наука, 1978. 352 с.
  14. Саркисян С. А., Ахунов В. М., Минаев Э. С. *Большие технические системы. Анализ и прогноз развития*. Москва: Наука, 1977. 350 с.
- References (transliterated)**
1. Madachy R. J. *Software process dynamics*. Hoboken, NJ, IEEE Press, Wiley Interscience, 2008. 601 p.
  2. Li T. *An Approach to Modelling Software Evolution Processes*. Berlin–Heidelberg, Springer, 2008. 213 p.
  3. Chrissis M. B., Konrad M., Shrum S. *CMMI: Guidelines for Process Integration and Product Improvement*. Addison–Wesley, 2003. 688 p.
  4. Ahern D. M., Clouse A., Turner R. *CMMI Distilled: A Practical Introduction to Integrated Process Improvement*. Addison–Wesley, 2008. 288 p.
  5. *Otsenka i attestatsiya zrelosti protsessov sozdaniya i soprovozhdeniya programnykh sredstv i informatsionnykh sistem (ISO/IEC TR 15504-CMM)*. [Assessment and certification of the maturity of the processes of creating and maintaining software tools and information systems (ISO/IEC TR 15504-CMM)]. Moscow, Kniga i biznes Publ., 2001. 348 p.
  6. Godlevskiy M. D., Goncharenko T. Ye., Burlakov H. O., Malets D. K. Shlyakhy pidvyshchennya yakosti protsesu rozrobky programnoho 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 informatsiyni tekhnolohiyi* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2019. no. 2. pp. 63–69.
  7. Godlevskiy M. D., Shekhovtsov V. A., Brahynskyy Y. L. Pryntsypy modelyrovannya otsenky u upravlenyya kachestvom protsessu razrobotky programnoho obespechennya [Principles of modeling evaluation and quality management of the software development process]. *Vostochno-Evropeyskyy zhurnal peredovykh tekhnolohiy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]. Khar'kov, 2012, no. 5/3 (59), pp. 45–49.
  8. Godlevskiy M. D., Brahynskyy Y. L. Dynamicheskaya model' y alhorytm upravlenyya kachestvom protsessu razrobotky programnykh sistem na osnove modely zrelosti [Dynamic model and algorithm for quality management of the software systems development process based on the maturity model]. *Problemy ynfarmatsyonnykh tekhnolohyy* [Information Technology Issues]. Kherson, OLDY-Plyus Publ., 2012, pp. 6–13.
  9. Godlevskiy M. D., Goloskokova A. A. Sintez staticheskyykh modelei planirovaniya uluchsheniya kachestva protsessu razrobotky programnoho obespechennya [Synthesis of static planning models for improving the quality of the software development process]. *Vostochno-Evropeyskyy zhurnal peredovykh tekhnolohyy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]. Kharkiv, Technology Tsentrl Publ., 2015, no. 3/2 (75), pp. 23–29.
  10. 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. *Visnyk NTU "KhPI": zb. nauk. pr. Seriya: Sy'stemny'y analiz, upravlinnya ta informatsiyni tekhnolohiyi*. [Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2017, no. 51 (1272), pp. 32–37.
  11. Godlevskiy M. D., Goloskokova A. A., Bielous O. S. Information technology of a static model solving for quality improvement of the software development process based on the CMMI model. *Visnyk NTU "KhPI": zb. nauk. pr. Seriya: Sy'stemny'y analiz, upravlinnya ta informatsiyni tekhnolohiyi*. [Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2017, no. 55 (1276), pp. 26–30.
  12. Godlevskiy M. D., Goloskokova A. A., Burlakov G. O. Dinamichna model planuvannya rozvitku pidmnozhini protsesiv etalonnoyi modeli zrilosti SPICE [A dynamic model for development planning of process subsets for the SPICE reference maturity model]. *Visnyk NTU "KhPI": zb. nauk. pr. Seriya: Sy'stemny'y analiz, upravlinnya ta informatsiyni tekhnolohiyi*. [Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2020, no. 2 (4), pp. 10–16.
  13. Fishern P. *Teoriya poleznosti prinjatija reshenij* [Decision utility theory]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 352 p.
  14. Sarkisjan S. A., Ahudnov V. M., Minaev Je. S. *Bol'shie tekhnicheskie sistemy. Analiz i prognoz razvitija* [Large technical systems. Analysis and development forecast]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 350 p.

*Надійшло (received) 25.10.2022*

#### *Відомості про авторів / About the Authors*

**Годлевський Михайло Дмитрович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», директор інституту комп'ютерних наук і інформаційних технологій; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2872-0598>; e-mail: [god\\_asu@kpi.kharkov.ua](mailto:god_asu@kpi.kharkov.ua),

**Малець Дмитро Костянтинович** – Technorely Inc., головний виконуючий директор; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1980-1401>; e-mail: [dmitriy@technorely.com](mailto:dmitriy@technorely.com).

**Godlevskiy Mykhaylo Dmytrovych** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Director of the Institute of Computer Science and Information Technology; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2872-0598>; e-mail: [god\\_asu@kpi.kharkov.ua](mailto:god_asu@kpi.kharkov.ua).

**Malets Dmytro Kostyantynovych** – Technorely Inc Chief Executive Officer; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1980-1401>; e-mail: [dmitriy@technorely.com](mailto:dmitriy@technorely.com).