

**В. Є. СОКОЛ, М. Д. ГОДЛЕВСЬКИЙ, Д. К. МАЛЕЦЬ, К. О. АФАНАСЬЄВ**

## **ВЕРБАЛЬНИЙ ОПИС ТЕХНОЛОГІЇ ПЛАНУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

Зазначено, що для вирішення задачі розробки інформаційної технології планування підвищення рівня якості процесу розробки програмного забезпечення (ПР ПЗ) на основі кількісних шкал моделей зрілості попередньо необхідно на вербальному рівні розробити технологію, яка складається з окремих етапів, вирішення поставленої проблеми. На першому етапі технології проводиться формалізація структури ПР ПЗ та оцінка його якості на основі бальних якісних шкал моделей зрілості Capability Maturity Model Integration (CMMI) та Software Process Improvement and Capability dEtermination (SPICE). На другому етапі визначені основні недоліки використання бальних якісних шкал і запропоновано метод синтезу збалансованих кількісних шкал на основі використання функції корисності. На третьому етапі технології проводиться оцінка якості окремих складових ПР ПЗ на основі збалансованих шкал моделей зрілості CMMI та SPICE. На четвертому етапі кількісні шкали використовуються для синтезу динамічних моделей планування підвищення якості множини фокусних областей моделі CMMI та процесів моделі SPICE. П'ятий етап присвячено використанню алгоритму «Київський віник», який дозволяє вирішити задачу планування підвищення якості ПР ПЗ. На шостому етапі розглядаються основні складові прикладної інформаційної технології, у тому числі архітектурний синтез системи, яка повинна реалізувати розроблені моделі, методи та алгоритми. Сьомий та восьмий етапи присвячені параметричному аналізу та формуванню ефективних рішень, на основі яких особа, що приймає рішення, визначає варіант розвитку ПР ПЗ. Наведено шляхи подальших досліджень, у тому числі: розробка статичних моделей планування підвищення якості ПР ПЗ на основі кількісних збалансованих шкал моделей зрілості; розробка прикладної інформаційної технології ковзного планування на основі статичних та динамічних моделей зрілості.

**Ключові слова:** кількісні шкали, динамічна модель, оптимізація, метод послідовного аналізу варіантів, обмеженість ресурсів, архітектурний аналіз, прикладна інформаційна технологія.

**V. SOKOL, M. GODLEVSKYI, D. MALETS, K. AFANASIEV**

## **A VERBAL DESCRIPTION OF THE TECHNOLOGY FOR PLANNING THE IMPROVEMENT OF THE QUALITY OF THE SOFTWARE DEVELOPMENT PROCESS**

It is noted that to solve the problem of developing information technology for planning the improvement of the quality of the software development process (SDP) based on quantitative scales of maturity models, firstly, it is necessary to develop a technology at the verbal level that consists of separate stages for solving the problem at hand. At the first stage of the technology, the structure of the SP is formalised and its quality is assessed based on the point-based qualitative scales of the Capability Maturity Model Integration (CMMI) and Software Process Improvement and Capability Determination (SPICE) maturity models. The second stage identifies the main shortcomings of using qualitative point scales and proposes a method for synthesising balanced quantitative scales based on the use of utility functions. The third stage of the technology involves assessing the quality of individual components of the software development process based on balanced scales of CMMI and SPICE maturity models. At the fourth stage, quantitative scales are used to synthesise dynamic models for planning quality improvement in a set of focus areas of the CMMI model and SPICE model processes. The fifth stage is devoted to the use of the 'Kyiv broom' algorithm, which allows solving the problem of planning software quality improvement. The sixth stage considers the main components of applied information technology, including the architectural synthesis of the system that should implement the developed models, methods, and algorithms. The seventh and eighth stages are devoted to parametric analysis and the formation of effective solutions, on the basis of which the decision-maker determines the development option for the software product. The ways for further research are presented, including: the development of static models for planning the improvement of software development quality based on quantitative balanced scales of maturity models; the development of applied information technology for sliding planning based on static and dynamic maturity models.

**Keywords:** quantitative scales, dynamic model, optimisation, sequential analysis method, resource constraints, architectural analysis, applied information technology.

**Вступ.** На теперішній час у науковій літературі розглядається багато підходів до оцінки рівня якості процесу розробки програмного забезпечення (ПР ПЗ), але найбільш популярні і широко використовуються на практиці моделі зрілості, такі як Capability Maturity Model Integration (CMMI) та Software Process Improvement and Capability dEtermination (SPICE) [1–4]. Модель SPICE відповідає стандарту ISO/IEC 15504 TR, а модель CMMI була розроблена Інститутом програмної інженерії (Software Engineering Institute, SEI) на основі моделі Capability Maturity Model (CMM). Ці моделі базуються на концепції зрілості організації, яка розробляє програмні системи. Поняття зрілості є комплексним і визначається на основі багатьох складових, таких як ступень: виміру, управління, контролю та виконання ПР ПЗ. Рівень зрілості дозволяє опосередковано визначити

можливість розробки кожного проекту у задані терміни з досягненням поставлених перед ним цілей.

Моделі зрілості CMMI та SPICE реалізують безперервний варіант до оцінки якості ПР ПЗ, який визначає якість окремих процесних областей. Кожна процесна (фокусна) область моделі CMMI має чотири рівні можливості (0, 1, 2, 3), а процесна область моделі SPICE – п'ять рівнів (1, 2, 3, 4, 5). Крім цього, модель CMMI реалізує дискретний варіант оцінки якості всього ПР ПЗ на основі п'яти рівнів зрілості, кожен з яких складається з множини процесних (фокусних) областей. Кожна процесна область (Key Process Area, KPA) визначає досягнення множини цілей, важливих для підвищення якості ПР ПЗ. Цілі бувають двох типів: загальні і особисті. Особисті цілі належать конкретним процесним областям, а загальні можуть з'являтися у декількох процесних областях. Множини

практик (Key Practice, KP) визначають дії, необхідні для досягнення цілей процесної області [5].

Одними з основних задач програмної інженерії є оцінка і у подальшому підвищення якості ПР ПЗ в умовах обмежених ресурсів. Для вирішення цих задач попередньо розробляється план програми удосконалення ПР ПЗ. Це дозволяє керівництву ІТ-компанії визначити стратегію підвищення її зрілості.

**Постановка та мета задачі дослідження.** Аналіз досліджень, які наведено у роботах [5–7] щодо розробки інформаційних технологій планування підвищення якості ПР ПЗ показав, що всі вони базуються на використанні якісних бальних шкал першого типу оцінки якості окремих фокусних областей безперервної моделі СММІ та всього ПР ПЗ на основі дискретної моделі СММІ, а також окремих процесів моделі SPICE. Основний недолік такого підходу є в тому, що синтезовані математичні моделі планування підвищення якості ПР ПЗ, які використовують змінні з такими шкалами, не дозволяють адекватно відобразити підвищення якості ПР ПЗ з погляду корисності використання фінансових ресурсів. Це пов'язано з тим, що існуючі вербальні моделі зрілості СММІ та SPICE [1–4] при підвищенні рівнів можливості або рівнів зрілості на одну градацію шкали (на один бал) дають різне підвищення якості ПР ПЗ з погляду корисності. Наприклад, підвищення рівня зрілості всього ПР ПЗ з другого на третій рівень з погляду корисності ПР ПЗ не відповідає підвищенню рівня зрілості з третього на четвертий рівень, хоча в першому та другому випадках рівень зрілості підвищується на один бал. Такі обставини спонукали необхідність перетворення бальних якісних шкал моделей зрілості у кількісні збалансовані шкали для синтезу моделей планування підвищення якості ПР ПЗ, в яких кожна градація шкали змінних відповідає певному підвищенню рівня якості окремої фокусної області та процесу, а також всього ПР ПЗ з погляду корисності їх використання. Задача планування підвищення якості окремих множин фокусних областей та процесів моделей СММІ та SPICE у роботі розглядається на деякому плановому періоді та реалізується шляхом технології ковзного планування. Суть такого підходу базується на тому, що спочатку вирішується динамічна задача на всьому плановому періоді і формується траєкторія, яка визначає стани ПР ПЗ на кожному підперіоді планування. Далі синтезується статична модель та вирішується статична постановка задачі, цільовим профайлом якої є стан ПР ПЗ у кінці першого підперіоду планування. Для статичної постановки задачі час не є змінною моделі і тому її можна синтезувати на основі більш детального розгляду. Це значить, що статична модель є більш адекватною об'єкту дослідження і уточнює результати вирішення більш грубої динамічної задачі, але яка розглядає поставлену задачу на всьому плановому періоді. Отже, організується ітераційний процес почергового вирішення динамічної та статичної постановки задачі. На кожній ітерації весь період

планування зміщується на один підперіод і знову вирішується динамічна задача з новим початковим станом ПР ПЗ, який є результатом вирішення статичної задачі і новим цільовим профайлом кінця нового планового періоду, і т. ін. На рис. 1 наведена наочна інтерпретація технології ковзного планування,  $\Sigma_i, i = \overline{0, T+S}$  – простори, в яких визначаються стани ПР ПЗ,  $\chi_t^j, t = \overline{j, T+j}, j = \overline{0, S}$  – конкретні стани ПР ПЗ на  $t$ -му підперіоді планування та  $j$ -му кроці,  $S$  – останній крок планування, який розглядається.

Використаємо рис. 1 для більш детального розгляду технології ковзного планування. У результаті вирішення динамічної задачі на нульовому кроці ітераційного процесу з початковим станом ПР ПЗ  $\chi_0^0$  та

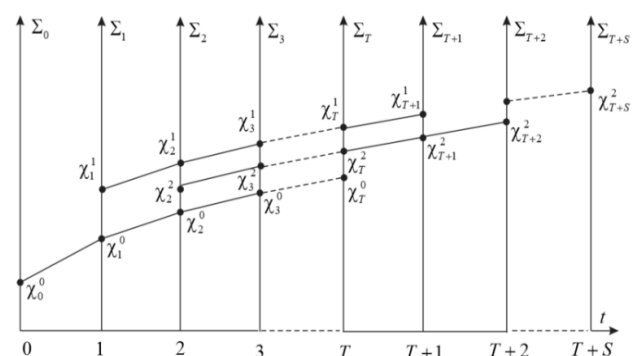


Рис. 1. Технологія ковзного планування

цільовим профайлом  $\chi_T^0$  отримуємо траєкторію  $\{\chi_0^0, \chi_1^0, \chi_2^0, \dots, \chi_T^0\}$ . Стан  $\chi_1^0$  є цільовим профайлом для статичної задачі, в результаті вирішення якої корегується стан  $\chi_1^0$  на  $\chi_1^1$ , який є новим початковим станом ПР ПЗ для вирішення динамічної постановки задачі з новим цільовим профайлом  $\chi_{T+1}^1$  ПР ПЗ вже на  $T+1$ -му підперіоді планування. В результаті на першій ітерації отримуємо нову траєкторію  $\{\chi_1^1, \chi_2^1, \chi_3^1, \dots, \chi_{T+1}^1\}$  і цільовий профайл  $\chi_2^1$  для наступної статичної постановки задачі і т. ін. У роботі розглядається тільки динамічна постановка задачі на основі сформованих кількісних шкал моделей зрілості. Синтез статичної моделі задачі на основі кількісних шкал є предметом подальших досліджень. З метою вирішення динамічної задачі планування підвищення рівня якості ПР ПЗ на основі сформованих кількісних шкал моделей зрілості спочатку розглянемо цю проблему на вербальному рівні у вигляді технології, яка складається з послідовності окремих етапів її реалізації з можливістю використання зворотного зв'язку на більшості етапів.

**Вербальний опис технології.** На рис. 2 наведено технологію підвищення рівня якості ПР ПЗ на основі кількісних шкал моделей зрілості СММІ та SPICE. Розглянемо окремо її основні етапи.



Рис. 2. Технологія планування підвищення якості ПР ПЗ ІТ-компанії

**Етап 1.** Якість ПР ПЗ ІТ-компанії це комплексне поняття, яке синтезоване з багатьох окремих складових. Тому виникає проблема декомпозиції цього поняття на окремі більш прості складові з метою оцінки їхньої якості. Така декомпозиція залежить від моделей оцінки якості ПР ПЗ. У роботі як приклад розглядаються дві моделі: CMMI та SPICE. Для цих моделей необхідно провести декомпозицію до рівня окремих об'єктів, які характеризують ту чи іншу складову якості ПР ПЗ. Для моделі CMMI це категорії фокусних областей і далі окремі фокусні області, а для моделі SPICE – категорії процесів, які декомпонуються на окремі процеси.

Далі виникає питання подальшої декомпозиції цих об'єктів до рівня можливості їх формалізації шляхом введення окремих змінних, які характеризують їхню якість. Наприклад, кожна фокусна область декомпонуються на окремі цілі, а кожна ціль – на окремі практики, для яких вводяться дискретні змінні «рівня можливості» практик від 0 до

3. Кожній змінній відповідає бальна якісна шкала першого типу і кожен бал вербально описується. Далі реалізується агрегація окремих практик і визначається оцінка якості окремих фокусних областей також на основі бальних якісних шкал першого типу [8].

Аналогічно окремий процес моделі SPICE декомпонуються на окремі практики, «рівні можливості» яких визначаються на основі дев'яти атрибутів, кожен з яких характеризується чотирма рівнями «володіння рисою». Саме на цьому рівні вводяться змінні з бальною шкалою від 1 до 4. На основі цих змінних формується бальна шкала рівнів можливості практик від 1 до 5. Далі, як і в моделі CMMI, реалізується агрегація окремих практик і визначається оцінка якості процесів моделі SPICE [8].

З метою оцінки якості всього ПР ПЗ ІТ-компанії виникає задача агрегації отриманих оцінок якості окремих складових моделей. Цей процес агрегації задокументовано для моделі CMMI при її дискретному варіанті реалізації, де визначається п'ять

рівнів зрілості ПР ПЗ. Перший рівень відповідає будь-якому ПР ПЗ, який реалізує розробку ПЗ. Кожен з інших рівнів зрілості визначається фіксованою множиною фокусних областей, кожна з яких має заданий рівень можливості. Отже, модель СММІ реалізує свій дискретний варіант, для якого використовується бальна якісна шкала першого типу з градаціями від 1 до 5 [8].

Модель SPICE на теперішній час не має офіційного дискретного варіанта і тому агрегація її окремих складових може проводитись на прикладі (за аналогією) моделі СММІ або іншим чином.

**Етап 2.** Оцінка якості окремих складових ПР ПЗ та всього ПР ПЗ на основі моделей зрілості, які базуються на бальних якісних шкалах першого типу, не дозволяє кількісно визначити рівень їхньої зрілості. Вербальний опис моделей СММІ та SPICE вирішує тільки питання якісної оцінки ПР ПЗ, а це в свою чергу не дозволяє синтезувати моделі планування розвитку ПР ПЗ (підвищення його спроможності). Як було сказано вище, це пов'язано з тим, що кожна градація бальної шкали не відповідає деякій конкретній величині корисності ПР ПЗ і підвищення зрілості всього ПР ПЗ або його складових на один бал не дозволяє визначити їхню нову корисність кількісно. Тому виникає необхідність розробки технології перетворення бальної якісної шкали у кількісну за допомогою використання теорії корисності.

Ідея такого підходу в тому, що за допомогою експертів визначається на скільки підвищується корисність ПР ПЗ або його окремих складових з кожним балом якісної шкали. Реалізація такого підходу базується на методі парних порівнянь Сааті [9, 10]. Для більш адекватної оцінки об'єкта дослідження запропоновано використовувати методологію колективного експертного оцінювання (МКЕО) [10]. Може так статися, що підвищення якості ПР ПЗ на один бал (наприклад, з трьох до чотирьох та з чотирьох до п'яти) призводить до доволі різних за величиною приростів функції корисності. Тому за аналогією зі збалансованими шкалами парних порівнянь введено поняття збалансованої кількісної шкали безпосередньої оцінки об'єктів. Суть такого підходу в тому, щоб окремі градації такої кількісної шкали були розташовані приблизно на однаковій відстані [11, 12].

**Етап 3.** Кожна фокусна область моделі СММІ та процес моделі SPICE визначаються на основі реалізації окремих множин практик, які долучені до них. У свою чергу кожна практика має деякий «рівень можливості», залежно від яких визначається «рівень можливості» фокусної області та процесу. У свою чергу для підвищення «рівня можливості» практик необхідно використання фінансових ресурсів. Отже, кожному «рівню можливості» відповідають необхідні ресурси. Підкреслимо, що при послідовному досягненні першого, другого та третього «рівнів можливості» фокусної області та з другого по п'ятий для процесів необхідні ресурси відрізняються від тих, які необхідні при переході за один крок з нульового

рівня на третій чи з першого на п'ятий в напрямку їх збільшення. Тому у подальшому для кожної фокусної області або процесу розглядаються різні варіанти досягнення більш високого «рівня можливості».

Відповідно до технології перетворення бальних якісних шкал першого типу у кількісні кожному варіанту використання фінансових ресурсів буде відповідати конкретне значення функції корисності. В результаті ми отримуємо підхід до оцінки якості окремих фокусних областей та процесів моделей зрілості на основі кількісних шкал.

Розглянемо питання підвищення якості всього ПР ПЗ на основі кількісних шкал на прикладі моделі СММІ, яка має, крім безперервного, ще і дискретний варіант реалізації. Як і для окремих фокусних областей та процесів реалізується перетворення п'ятибальної якісної шкали зрілості ПР ПЗ у кількісну шкалу за допомогою парних порівнянь Сааті. В результаті ми отримуємо кількісну шкалу оцінки якості всього ПР ПЗ.

Фактично це дозволяє визначити значення функції корисності для кожного рівня зрілості ПР ПЗ залежно від фінансових ресурсів, які використовуються для підняття «рівня можливості» окремих фокусних областей. Залежно від варіантів підвищення «рівнів можливості» фокусних областей, які відповідають конкретному рівню зрілості, виникає потреба у різних фінансових ресурсах, які забезпечують шуканий рівень зрілості.

**Етап 4.** Синтез моделі динамічної задачі планування покращення якості ПР ПЗ розглядається на прикладі множини фокусних областей моделі СММІ. У якості цільової функції моделі визначається величина приросту функції корисності на всьому плановому періоді з урахуванням обмежень на фінансові ресурси на кожному підперіоді і всьому періоді планування. Функція корисності  $i$ -ї фокусної області  $k$ -ї категорії у  $t$ -му підперіоді планування  $P^{ik}(t)$  є дискретною змінною, яка на інтервалі  $(0,1]$

приймає чотири базових значення:  $P_0^{ik}, P_1^{ik}, P_2^{ik}, P_3^{ik}$ , де  $P_3^{ik} = 1$  по визначенню. Отже,

$$P^{ik}(t) \in \{P_0^{ik}, P_1^{ik}, P_2^{ik}, P_3^{ik}\}. \quad \text{Приріст функції}$$

корисності для кожної фокусної області моделі СММІ або процесу моделі SPICE може відбуватися різним шляхом при переході від одного рівня можливості до більш потужного (не обов'язково наступного). Кожному варіанту підвищення рівня можливості, а значить і функції корисності, фокусної області (процесу) відповідають деякі ресурси  $R_{jl}^{ik}$  для переходу з  $j$ -го на  $l$ -й рівень можливості.

Синтез цільової функції моделі відбувається шляхом згортки приростів множини функцій корисності окремих фокусних областей або процесів з урахуванням вагових коефіцієнтів їх важливості. Зважаючи на те, що розглядається динамічна постановка задачі, при побудові цільової функції

моделі визначаються вагові коефіцієнти важливості для кожного підперіоду планування. При формуванні ресурсних (фінансових) обмежень на цільову функцію моделі виникає питання визначення управляючих змінних, які забезпечують залежність між варіантом приросту функції корисності фокусної області (процесу) і необхідними для цього ресурсами. Один з підходів до вирішення цієї проблеми – використання булевих змінних  $\{x_l^{ik}(t)\}$ , де  $l$  – рівень можливості, а  $t$  – підперіод планування. В результаті формується модель задачі з адитивною цільовою функцією та булевими змінними, на яку накладаються ресурсні обмеження. Ресурси виділяються на кожному підперіоді планування і можуть бути перенесені на наступні підперіоди.

**Етап 5.** Аналіз динамічної моделі планування підвищення якості множини фокусних областей моделі СММІ (процесів моделі SPICE) показав, що найбільш сприятливим методом до її розв'язання є метод послідовного аналізу варіантів (ПАВ). Такий висновок зроблено на основі того, що: 1) модель має адитивну цільову функцію з булевими змінними; 2) обмеження визначаються на основі функцій з квадратичними булевими змінними.

В результаті задача є NP-складною і використання реальної інформації призводить до дуже високої розмірності задачі і недоцільності використання інших методів для такого класу задач. Метод ПАВ є багатокроковим процесом, на кожному кроці якого визначається множина неконкурентоздатних варіантів, що не входять в оптимальне рішення. Це дозволяє вирішувати такої складності задачі, які не підсиляні іншим методам. У роботі запропоновано використовувати алгоритм «Київський віник», розроблений українськими вченими В. С. Михалевичем та Н. З. Шором на основі методу ПАВ. Наочна інтерпретація цього алгоритму на нульовому кроці технології ковзного планування наведена на рис. 3. Множини  $G_0, G_1, \dots, G_T$  визначаються на основі ресурсних (фінансових)

обмежень моделі. Множина  $G_0$  складається з одного елементу і визначає початковий стан підмножини фокусних областей моделі СММІ або процесів моделі SPICE.

**Етап 6.** Упродовж розробки інформаційної технології планування підвищення якості підмножини окремих складових моделей зрілості вирішуються наступні задачі: 1) використання стандарту IDEF для представлення технології у вигляді послідовності бізнес-процесів; 2) визначення функціональних та нефункціональних вимог до ПЗ; 3) формування діаграми використання ПЗ; 4) формування моделі даних; 5) аналіз та обґрунтування інструментарію для розробки ПЗ; 6) вибір архітектури ПЗ; 7) визначення та представлення програмних компонентів діаграми розгортання; 8) формування тестових прикладів і перевірка на їхній основі працездатності інформаційної технології.

**Етап 7.** Параметричний аналіз моделей планування підвищення рівня якості ПЗ на основі множини окремих складових моделей зрілості пропонується проводити шляхом варіювання ряду параметрів моделей. Це дозволяє особі, що приймає рішення (ОПР) сформувати множину альтернатив для прийняття остаточного рішення. Варіювання параметрів проводиться в межах заздалегідь заданих інтервалів з урахуванням: впливу зовнішнього середовища; предметної області використання ПЗ; варіанта планування (поточне, середньострокове, стратегічне) і т. ін.

Враховуючи технологію побудови моделей до параметрів, які доцільно дослідити, відносяться: коефіцієнти важливості окремих складових моделей зрілості; довжина періоду планування і кількість підперіодів на ньому; коефіцієнти важливості окремих підперіодів планування; обмеження на фінансові ресурси по кожному підперіоду планування; загальні фінансові ресурси впродовж усього періоду планування.

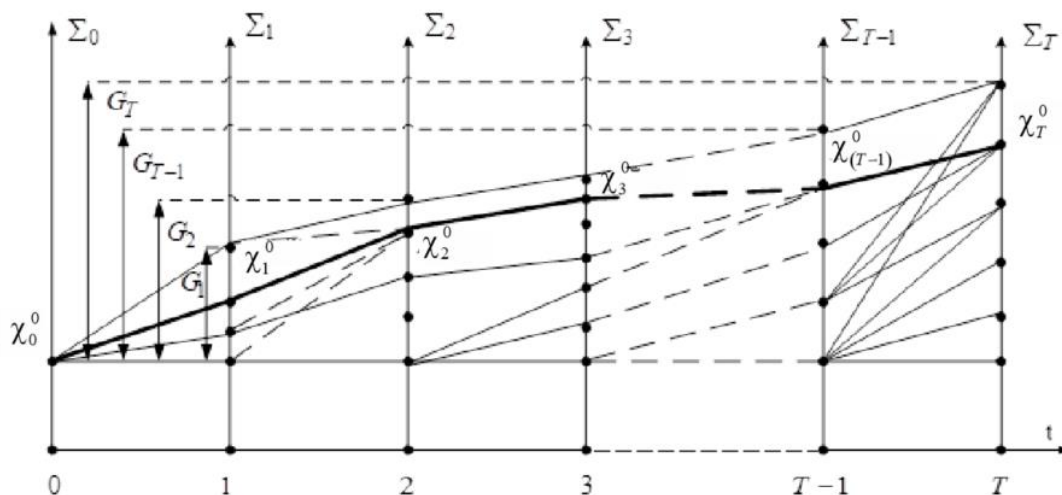


Рис. 3. Наочна інтерпретація алгоритму «Київський віник»

**Етап 8.** На основі варіювання параметрів моделі ОПР отримує множину альтернативних варіантів, з яких необхідно обрати остаточне рішення для втілення його у практику функціонування ІТ-компанії. Вибір раціональної альтернативи реалізується на основі оцінки трьох груп критеріїв, які є показниками ефективності функціонування ПР ПЗ. До першої групи входить ступінь досягнення поставленої мети. В нашому випадку метою є цільовий профайл, який визначає якість множини окремих складових моделі зрілості. В цю групу також входить приріст функції корисності протягом усього планового періоду. До другої групи входять необхідні ресурси для досягнення поставленої мети. Третя група визначає довжину періоду (часу) досягнення поставленої мети. На основі оцінки визначених критеріїв вибирається множина ефективних альтернатив, з яких ОПР на основі додаткової інформації визначає кращий варіант.

**Висновки, шляхи подальших досліджень.** У роботі підкреслено, що для вирішення задачі розробки моделей, методів та інформаційної технології планування підвищення рівня якості ПР ПЗ на основі кількісних шкал моделей зрілості попередньо необхідно на вербальному рівні розробити технологію, яка складається з окремих етапів, вирішення поставленої проблеми. В результаті на першому етапі проводиться формалізація структури та оцінка якості ПР ПЗ на основі бальних якісних шкал моделей зрілості CMMI та SPICE. Далі на другому етапі визначені основні недоліки використання бальних якісних шкал і запропоновано метод синтезу збалансованих кількісних шкал на основі використання функції корисності. На третьому етапі технології проводиться оцінка якості окремих складових ПР ПЗ на основі збалансованих кількісних шкал. На четвертому етапі кількісні шкали моделей зрілості використовуються для синтезу моделей планування підвищення якості множин окремих складових ПР ПЗ. Далі етап 5 присвячено алгоритму «Київський віник», який відноситься до методу ПАВ і дозволяє вирішити задачу планування підвищення якості ПР ПЗ. На шостому етапі розглядаються основні складові інформаційної технології, яка повинна реалізувати розроблені моделі, методи та алгоритми. На сьомому та восьмому етапах ОПР на основі параметричного аналізу та формування ефективних рішень визначає варіант розвитку ПР ПЗ, який може бути прийнятим до впровадження.

Напрямки подальших досліджень:

- 1) розробка динамічних моделей планування підвищення якості ПР ПЗ ІТ-компанії для дискретного варіанта моделей зрілості;
- 2) розробка статичних моделей планування підвищення якості ПР ПЗ на основі кількісних збалансованих шкал;
- 3) розробка інформаційної технології ковзного планування підвищення якості ПР ПЗ на основі статичних та динамічних моделей зрілості.

#### Список літератури

1. Chrissis M. B., Konrad M., Shrum S. *CMMI: Guidelines for Process Integration and Product Improvement*. Addison-Wesley, 2003. 688 p.
2. Андон Ф. И., Коваль Г. И., Коротун Т. М. *Основы инженерии качества программных систем*. 2е издание. К: Академперіодика, 2007. 672 с.
3. Mutafelija B., Stromberg H. *Process improvement with CMMI v1.2 and ISO standards*. Boca Raton: Auerbach Pubs, 2009. 406 p.
4. 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*. 2012. Vol. 5, pp. 239–247.
5. 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.
6. 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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.43003>
7. Годлевский М. Д., Голоскокова А. О., Бураков Г. О. Динамична 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. <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2020.02.02>
8. Сокол В. С., Годлевский М. Д., Малець Д. К. Оцінка якості процесу розробки програмного забезпечення ІТ-компанії на основі використання функції корисності. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. Харків: НТУ «ХПІ», 2024. № 1 (11). С. 9–17. <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2024.01.02>
9. Сокол В. С., Годлевский М. Д., Малець Д. К., Афанасьев К. О. Синтез кількісних шкал моделей зрілості для оцінки якості процесу розробки програмного забезпечення. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. Харків: НТУ «ХПІ», 2025. № 2 (14). С. 122–128.
10. Крючковский В. В., Петров Э. Г., Соколова Н. А., Ходаков В. Е. *Интерспективный анализ. Методы и средства экспертного оценивания*. Херсон: Гринь Д. С., 2011. 168 с.
11. Salo A. A. On the measurement of preferences in the analytic hierarchy process. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. 1997. Vol. 6, pp. 309–319.
12. Lootsma F. A. Conflict resolution via pairwise comparison of concessions. *European Journal of Operational Research*. 1989. Vol. 40, pp. 109–116.

#### References (transliterated)

1. Chrissis M. B., Konrad M., Shrum S. *CMMI: Guidelines for Process Integration and Product Improvement*. Addison-Wesley Publ., 2003. 688 p.
2. Andon F. I., Koval' G. I., Korotun T. M. *Osnovy inzhenerii kachestva programnykh sistem. 2-e izd.* [Fundamentals of software systems quality engineering. 2nd ed.]. Kyiv, Akademperіodika Publ., 2007. 672 p.
3. Mutafelija B., Stromberg H. *Process improvement with CMMI v1.2 and ISO standards*. Boca Raton, Auerbach Publ., 2009. 406 p.
4. Mesquida A., Mas A., Alcover A., Calvo Manzano J. IT Service Management Process Improvement based on ISO/IEC 15504: A systematic review. *Information & Software Technology*. 2012, vol. 5, pp. 239–247.
5. Godlevskiy M. D., Braginskii I. L. Dinamicheskaya model' i algoritm upravleniya kachestvom protsesssa razrabotki programnykh sistem na osnove modeli zrelosti [Dynamic model and algorithm for quality management of the software systems development process based on a maturity model]. *Problemy*

- informatsionnykh tekhnologiy* [Problems of Information Technologies]. Kherson, OLDI-Plyus Publ., 2012, pp. 6–13.
6. Godlevskiy M. D., Goloskokova A. A. Sintez staticheskikh modeley planirovaniya uluchsheniya kachestva protsessa razrabotki programmnoho obespecheniya [Synthesis of static planning models for improving the quality of the software development process]. *Skhidno-Yevropeys'kyi zhurnal peredovykh tekhnologiy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]. Kharkiv, 2015, no. 3/2 (75), pp. 23–29. doi: 10.15587/1729-4061.2015.43003
  7. Hodlevskiy M. D., Holoskokova A. O., Burlakov H. O. Dynamichna model' planuvannya rozvytku pidmnozhyzny protsesiv etalonnoyi modeli zrilosti SPICE [Dynamic model for planning the development of a subset of processes of the SPICE maturity reference model]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Seriya: Systemnyy analiz, upravlinnya ta informatsiyi tekhnologiyi* [Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System Analysis, Control and Information Technologies]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2020, no. 2 (4), pp. 10–16. doi: 10.20998/2079-0023.2020.02.02
  8. Sokol V. Ye., Godlevskiy M. D., Malets D. K. Otsinka yakosti protsesu rozrobky prohrannoho zabezpechennya IT-kompaniyi na osnovi vykorystannya funktsiyi korysnosti [Quality assessment of the software development process of an IT company based on the use of the utility function]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Seriya: Systemnyy analiz, upravlinnya ta informatsiyi tekhnologiyi* [Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System Analysis, Control and Information Technologies]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2024, no. 1 (11), pp. 9–17. doi: 10.20998/2079-0023.2024.01.02
  9. Sokol V. Ye., Godlevskiy M. D., Malets D. K., Afanas'yev K. O. Sintez kil'kisnykh shkal modeley zrilosti dlya otsinky yakosti protsesu rozrobky prohrannoho zabezpechennya [Synthesis of quantitative scales of maturity models for assessing the quality of the software development process]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Seriya: Systemnyy analiz, upravlinnya ta informatsiyi tekhnologiyi* [Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System Analysis, Control and Information Technologies]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2025, no. 2 (14), pp. 122–128.
  10. Kryuchkovskiy V. V., Petrov E. G., Sokolova N. A., Khodakov V. E. *Introspektivnyy analiz. Metody i sredstva ekspertnoho otsenivaniya* [Introspective analysis. Methods and tools of expert evaluation]. Kherson, Grin' D. S. Publ., 2011. 168 p.
  11. Salo A. A. On the measurement of preferences in the analytic hierarchy process. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. 1997, vol. 6, pp. 309–319.
  12. Lootsma F. A. Conflict resolution via pairwise comparison of concessions. *European Journal of Operational Research*. 1989, vol. 40, pp. 109–116.

Надійшла (received) 24.02.26

## Відомості про авторів / About the Authors

**Сокол Володимир Євгенович (Sokol Volodymyr)** – доктор філософії (PhD), доцент, науковий дослідник дослідницької групи з навчальних технологій, Рейнсько-Вестфальський Технічний Університет, м. Ахен, Німеччина, e-mail: sokol@cs.rwth-aachen.de; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4689-3356>.

**Годлевський Михайло Дмитрович (Godlevskiy Mykhailo)** – доктор технічних наук, професор, директор інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: Mykhailo.Hodlevskiy@khp.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2872-0598>.

**Малец Дмитро Костянтинович (Malets Dmytro)** – аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: dmytro.malets@cs.khpi.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1980-1401>.

**Афанасьєв Костянтин Олексійович (Afanasiev Kostiantyn)** – аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: Kostiantyn.Afanasiev@cs.khpi.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6665-7459>.