

*М. Д. ГОДЛЕВСЬКИЙ, Т. Є. ГОНЧАРЕНКО, Г. О. БУРЛАКОВ, Д. К. МАЛЕЦЬ*

### **ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛЕЙ ЗРІЛОСТІ**

Стисло розглянуті основні етапи еволюції поняття якості виробу та послуги, починаючи з системи Тейлора до концепції тотального менеджменту якості TQM (Total Quality Management). Зважаючи на універсальний характер стандартів серії ISO-9000, вони були застосовані в області програмної інженерії. Шляхи підвищення якості процесу розробки програмного забезпечення (ПР ПЗ) розглядаються на основі моделей зрілості. Основними моделями зрілості є: CMMI (Capability Maturity Model Integration) та SPICE (Software Process Improvement and Capability dEtermination). CMMI реалізована у двох варіантах – дискретному і безперервному. Першому відповідає поняття «рівень зрілості», а другому – «рівень можливості». З цими поняттями пов'язана оцінка поточного стану ПР ПЗ організації та окремих фокусних областей. На відміну від моделі CMMI модель зрілості SPICE реалізована тільки в одному варіанті – безперервне подання. Ця модель визначає тільки поняття «рівень можливості» окремо взятих процесів. Аналогом фокусної області моделі CMMI є поняття процесу моделі SPICE, який складається з практик. Основним недоліком моделі CMMI є те, що вона не урахує особливості організації розробника ПЗ. З іншого боку, при використанні моделі SPICE по відношенню до окремого процесу експерти можуть використовувати наступну інформацію: методологію управління проектом; модель життєвого циклу ПР ПЗ; особливості предметної області; цілі організації. На основі розглянутої структури та проведеного порівняльного аналізу цих моделей виявлені окремі їх властивості, які дозволили сформулювати шляхи підвищення зрілості ПР ПЗ. Основними з них є: формалізація моделей зрілості; розробка математичних моделей підвищення рівня зрілості як окремих процесів, так і всього ПР ПЗ; формування дискретної моделі зрілості на основі SPICE; використання методології колективного експертного оцінювання вихідного стану окремих фокусних областей моделі CMMI і процесів моделі SPICE.

**Ключові слова:** якість, процес розробки програмного забезпечення, модель зрілості, фокусна область, практика, формалізація моделей зрілості, методологія колективного експертного оцінювання.

*М. Д. ГОДЛЕВСКИЙ, Т. Е. ГОНЧАРЕНКО, Г. А. БУРЛАКОВ, Д. К. МАЛЕЦ*

### **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ЗРЕЛОСТИ**

Кратко рассмотрены основные этапы эволюции понятия качества изделия и услуги, начиная с системы Тейлора до концепции тотального менеджмента качества TQM (Total Quality Management). Учитывая универсальный характер стандартов серии ISO-9000, они были применены в области программной инженерии. Пути повышения качества процесса разработки программного обеспечения (ПР ПО) рассматриваются на основе моделей зрелости. Основными моделями зрелости являются: CMMI (Capability Maturity Model Integration) и SPICE (Software Process Improvement and Capability dEtermination). CMMI реализована в двух вариантах – дискретном и непрерывном. Первому соответствует понятие «уровень зрелости», а второму – «уровень возможности». С этими понятиями связана оценка текущего состояния ПР ПО организации и отдельных фокусных областей. В отличие от модели CMMI модель зрелости SPICE реализована только в одном варианте – непрерывное представление. Эта модель определяет только понятие «уровень возможности» отдельно взятых процессов. Аналогом фокусной области модели CMMI является понятие процесса модели SPICE, который состоит из практик. Основным недостатком модели CMMI является то, что она не учитывает особенности организации разработчика ПО. С другой стороны, при использовании модели SPICE по отношению к отдельному процессу эксперты могут использовать следующую информацию: методологию управления проектом; модель жизненного цикла ПР ПО; особенности предметной области; цели организации. На основе рассмотренной структуры и проведенного сравнительного анализа этих моделей выявлены отдельные их свойства, которые позволили сформулировать пути повышения зрелости ПР ПО. Основными из них являются: формализация моделей зрелости; разработка математических моделей повышения уровня зрелости как отдельных процессов, так и всего ПР ПО; формирование дискретной модели зрелости на основе SPICE; использование методологии коллективного экспертного оценивания исходного состояния отдельных фокусных областей модели CMMI и процессов модели SPICE.

**Ключевые слова:** качество, процесс разработки программного обеспечения, модель зрелости, фокусная область, практика, формализация моделей зрелости, методология коллективного экспертного оценивания.

*M. D. GODLEVSKIY, T. YE. GONCHARENKO, G. O. BURLAKOV, D. K. MALETS*

### **WAYS TO IMPROVE THE QUALITY OF THE PROCESS OF DEVELOPMENT OF SOFTWARE BASED ON MODELS OF MATURITY**

The basic evolution stages of the product and services quality concept are briefly discussed starting with the Taylor's system concept total quality management TQM (Total Quality Management). Given the universal nature of the ISO-9000 standards series, they were applied in the field of software engineering. The ways of the quality improvement of the software development process (DP software) are considered on the basis of maturity models. The two main maturity models are: CMMI (Capability Maturity Model Integration) and SPICE (Software Process Improvement and Capability dEtermination). CMMI is implemented in two versions - discrete and continuous. The first one corresponds to the concept of "maturity level," and the second - to the "opportunity level". The assessment of the current state of the DP software organization and individual focus areas relate respectively to these concepts. In contrast to the CMMI model, the SPICE maturity model is implemented in only one version - continuous presentation. This model defines only the concept of "opportunity level" of individual processes. The equivalent of the focus area of the CMMI model is the concept of the SPICE model process which consists of certain operations. The main disadvantage of the CMMI model is that it does not specify a software developer's organization. On the other hand, when using the SPICE model in relation to an individual process, experts may use the following information: project management methodology; model of the life cycle of DP software; features of the subject area; organization goals. On the basis of the considered structure and the comparative analysis of these models, their individual properties were identified, which made it possible to define the ways of DP software maturity improvement. The main of these are: the formalization of maturity models; the development of mathematical models for increasing the level of maturity of both individual processes and the whole DP software; creating a discrete maturity model based on SPICE; using the methodology of collective expert assessment of the initial state of individual focus areas of the CMMI model and the processes of the SPICE model.

**Keywords:** quality, software development process, maturity model, focus area, operations, maturity model formalization, collective expert assessment methodology.

**Вступ.** У ринковій економіці проблема якості є важливим фактором підвищення рівня життя, соціальної, економічної та політичної безпеки країни. Якість – комплексне поняття, яке характеризує ефективність усіх сторін діяльності складної системи. Важливою складовою усієї системи якості є якість продукції та наданих послуг. З часом поняття якості зазнало значну еволюцію. Перший етап відповідав початковим задачам системного підходу до управління якістю. Це система Тейлора – управління якістю окремо взятого виробу (послуги). Другий етап відповідав управлінню процесами. Наголос з інспекції та виявлення дефектів було перенесено на їх попередження шляхом виявлення причин дефектів та їх усунення на основі вивчення процесів і управління ними. Третій етап характеризується концепцією тотального контролю якості – TQC (Total Quality Control) на окремих етапах проектування та виробництва продукції та подання послуг. На четвертому етапі почався перехід від тотального контролю якості до тотального менеджменту якістю – TQM (Total Quality Management). У цей відрізок часу з'явилася серія нових міжнародних стандартів на системи якості – стандарти ISO-9000. Якщо TQC – це управління якістю з метою виконання заданих вимог, то TQM – це управління цілями та вимогами.

Зважаючи на універсальний характер стандартів серії ISO-9000, вони були застосовані в області програмної інженерії для вирішення задач підвищення якості розробки програмних систем (ПС). Запорукою цього є запровадження у практиці організацій-розробників ПС підтримуючих процесів життєвого циклу (ЖЦ) ПС: «гарантування якості», «управління якістю», «верифікація і валідація». Термін «гарантування якості» відповідає терміну «Software Quality Assurance» (SQA), який використовується закордоном, а «верифікація і валідація» – «Verification and Validation» (V&V). SQA пов'язано з двома видами діяльності: запровадження стандартів якості і відповідних процедур у розробці ПС; оцінка прихильності цим стандартам і процедурам. Об'єктом дослідження SQA є процеси ЖЦ ПС, а не програмні продукти. Для контролю якості програмних продуктів призначено процес V&V. Для забезпечення цілеспрямованого підходу до вирішення задачі гарантії якості ПС та удосконалення процесів ЖЦ ПС SQA інтегрується з процесом управління якістю.

На теперішній час велика кількість наукових досліджень присвячені оцінюванню стану процесу розробки програмного забезпечення (ПР ПЗ). Деякі з них присвячені окремим процесам, інші розглядають цю проблему на рівні всього ПР ПЗ організації. У більшості використовуються відповідні моделі на вербальному рівні. Тому постало питання аналізу шляхів підвищення якості ПР ПЗ на основі математичного моделювання.

**Постановка задачі.** Покращення процесу розробки програмного забезпечення (Software Process Improvement, SPI) [1, 2] це сукупність дій, які спрямовані на поліпшення характеристик ПР у результаті виконання

деякого набору заходів. Важливим моментом є той факт, що критеріями успіху цих дій є характеристики ПР, а не характеристики програмного забезпечення, яке розробляється. Серед підходів до покращення ПР можна виділити такі, які базуються на: стандарті ISO-9001:2000 [3], понятті моделі зрілості [4, 5], технології Six Sigma [6].

У подальшому у роботі шляхи підвищення якості ПР ПЗ будемо розглядати на основі моделей зрілості, які базуються на таких фундаментальних поняттях:

1. Процес – послідовність дій, які виконуються із заданою метою і використовуються розробниками для створення і супроводу ПЗ і пов'язаних з ним продуктів:
  - планів проекту;
  - проектних документів;
  - сценаріїв тестування і т. і.
2. Здатність процесу – результати, які можна очікувати, якщо організація дотримується даного технологічного процесу. Це поняття відноситься до майбутніх проектів і базується на характеристиках технологій, які досягнуті на попередніх проектах.
3. Продуктивність процесу – фактичні результати, які досягнуті організацією, що дотримується даного процесу. Це поняття асоціюється з вже виконаними проектами.
4. Зрілість технології – ступінь визначеності, керованості, контрольованості та ефективності технології. Це індикатор повноти технології і ступеня послідовності організації в її застосуванні на всіх проектах.
5. Фокусна область – відповідає за категорію дій, пов'язаних з окремою дисципліною процесу розробки ПЗ: обробка вимог; проектування або конструювання ПЗ і т. і.
6. Практика – окрема дія у межах відповідної фокусної області/процесу.

Двома основними моделями зрілості є:

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

CMMI реалізована у двох варіантах – дискретному і безперервному. Першому відповідає поняття «рівень зрілості», а другому – «рівень можливості». З цими поняттями пов'язана оцінка поточного стану ПР ПЗ організації та окремих фокусних областей відповідно. У якості прикладу опис фокусної області PMC (Project Monitoring and Control) моделі CMMI представлено у таблиці 1. PMC1 та PMC2 – цілі фокусної області PMC. На третьому рівні кожна з цілей має практики. Перша – сім практик, друга – три практики.

На відміну від моделі CMMI модель зрілості SPICE реалізована тільки в одному варіанті – безперервне подання. Ця модель визначає тільки поняття «рівень можливості» окремо взятих процесів. Тому модель зрілості SPICE не дозволяє зробити оцінку ПР ПЗ організації в цілому.

Таблиця 1 – Приклад опису фокусної області моделі CMMI

PMC – виконання моніторингу і контролю проекту (з метою коригування дій, якщо рівень виконання проекту відрізняється від плану)									
PMC1 – фактичний рівень виконання проекту і його просування контролюється відносно плану проекту					PMC2 – коригувальні дії знаходяться під спеціальним управлінням аж до завершення проекту				
1. Моніторинг фактичних значень параметрів і заданих в плані проекту	2. Моніторинг зобов'язань щодо осіб, зазначених у плані проекту	3. Моніторинг ризиків щодо ризиків, визначених у плані проекту	4. Моніторинг управління даними проекту щодо плану проекту	5. Моніторинг участі зацікавлених сторін щодо плану проекту	6. Періодичне оцінювання ходу проекту, рівня виконання і виникнення проблем	7. Оцінювання досягнень проекту та результатів на окремих контрольних точках проекту	1. Збір і аналіз проблем, і визначення коригувальних дій по їх усуненню	2. Впровадження коригувальних дій по виконаним проблемам	3. Управління коригувальними діями до завершення проекту

Аналогом фокусної області моделі CMMI є поняття процесу моделі SPICE, який складається з практик. У якості прикладу у таблиці 2 представлена структура документування SUP1 категорії SUP (Support category). Процеси цієї категорії забезпечують і підвищують продуктивність інших процесів проекту.

Таблиця 2 – Приклад опису процесу моделі SPICE

SUP1 – процес документування	
Практики	SUP1.1 – розробити політику документування
	SUP1.2 – розробити стандарти документування
	SUP1.3 – визначити вимоги до документації
	SUP1.4 – розробити документацію
	SUP1.5 – перевірити документацію
	SUP1.6 – розповсюдити документацію
	SUP1.7 – підтримувати документацію

Моделі зрілості CMMI та SPICE описано на вербальному рівні. Це не дозволяє реалізувати автоматизацію процесу покращення якості ПР ПЗ. Основним недоліком моделі зрілості CMMI є те, що вона не урахує особливості організації розробника ПЗ, такі як: методології розробки і управління проектами, цілі та предметну область діяльності організації. Модель CMMI використовується для зовнішнього аудиту. Вона забезпечує атестацію ПР ПЗ організації з отриманням відповідного сертифікату.

З іншого боку при використанні моделі SPICE по відношенню до окремого процесу експерти можуть використовувати наступну інформацію: методологію управління проектом; модель життєвого циклу ПР ПЗ; особливості предметної області; цілі організації. Але не існує моделі зрілості на базі SPICE, яка інтегровано урахує ці особливості відносно всього ПР ПЗ організації. Все це зумовлює пошук шляхів підвищення

якості процесу розробки програмного забезпечення на основі моделі зрілості CMMI та SPICE.

**Структура та порівняльний аналіз моделей CMMI та SPICE.** Для того, щоб визначити шляхи підвищення якості ПР ПЗ на основі моделей зрілості

CMMI та SPICE необхідно попередньо проаналізувати їх структуру та провести порівняльний аналіз. Це дозволить виявити окремі властивості кожної з цих моделей, провести їх формалізацію і розробити відповідні математичні моделі, на базі яких легше визначити шляхи підвищення якості ПР ПЗ.

Розглянемо більш детально структуру моделі зрілості CMMI. Як було підкреслено вище, безперервне подання моделі CMMI використовує рівні можливості для опису стану процесів організації щодо окремої фокусної області. Фактично рівні можливості оцінюють якість окремих процесів організації. Виділяють чотири рівня можливостей (від 0 до 3): 0 – неповний, 1 – виконуваний, 2 – керований, 3 – певний. Характеристика кожного рівня можливостей наведена в [4]. Для оцінки рівня можливостей окремої фокусної області у роботі [7] запропоновано проводити оцінку рівня можливості окремих практик фокусних областей з урахуванням вагових коефіцієнтів важливості практик.

Перейдемо до опису структури дискретного подання моделі CMMI (табл. 3). Стисла характеристика кожного рівня зрілості цієї моделі представлена у таблиці 4. Вважається, що першому (початковому) рівню зрілості моделі CMMI відповідає кожна організація розробник ПЗ. Цей рівень характеризується відсутністю фокусних областей і успіх проектів повністю залежить від досвіду співробітників. Другому рівню зрілості відповідають сім фокусних областей. У якості прикладу перелічимо

Таблиця 3 – Структури моделі CMMI

Рівень зрілості									
2		3			4			5	
Категорії									
Управління проектами	Підтримка	Управління процесами	Управління проектами	Інженерія	Підтримка	Управління процесами	Управління проектами	Управління процесами	Підтримка
Кількість фокусних областей									
4	3	3	2	5	1	1	1	1	1
Цілі та практики фокусних областей									

Таблиця 4 – Стисла характеристика рівнів зрілості CMMI

Рівень	Стисла характеристика
1. Початковий	В організації мало чи зовсім не має спільних процесів. Успіх проектів повністю залежить від досвіду співробітників.
2. Повторювальний	В організації впроваджені стандартні процеси управління проектами. Є спроби створити фундамент для подальшого підвищення рівня зрілості.
3. Визначений	Крім впровадження стандартів для процесів управління проектами ведеться робота по стандартизації у виробничій діяльності.
4. Керований	Реалізовано зворотній зв'язок по управлінню. Відбувається вимірювання всіх аспектів процесів управління проектами та виробництва. Реалізовано сховище ключових знань, отриманих в проектах.
5. Оптимізуючий	Впроваджено замкнутий цикл виконання процесів, вимірювання та безперервного покращення.

ці області. Категорія управління проектами містить у собі наступні фокусні області: моніторинг та контроль проекту; планування проекту; управління вимогами; менеджмент угод з постачальниками. Категорія підтримка містить у собі фокусні області: управління конфігурацією; вимірювання та аналіз; оцінка якості товарів та процесів. Для того, щоб ПР ПЗ організації досягнув другого рівня зрілості, необхідно всім практикам мати рівень можливості не нижче другого. Третьому рівню зрілості відповідають вісімнадцять фокусних областей. До семи фокусних областей другого рівня зрілості додаються ще одинадцять, які відповідають чотирьом категоріям. Категорія управління процесами містить наступні фокусні області: визначення організаційного процесу; фокусування на процесах організації; організаційний тренінг. Категорія управління проектами містить дві фокусні області: інтегроване управління проектами; управління ризиками. Категорія інженерія складається з наступних фокусних областей: інтеграція продукту; розробка вимог; технічні рішення; валідація; верифікація. Категорія підтримка має тільки одну фокусну область – аналіз та вибір рішень. Для того, щоб ПР ПЗ організації досяг третього рівня зрілості, необхідно всім практикам мати третій (максимальний) рівень можливості. Необхідно підкреслити, що досягти третього рівня зрілості відповідно моделі CMMI є ціллю багатьох організацій розробників ПЗ. На четвертому рівні зрілості додаються ще дві фокусні області – організаційна ефективність процесу та кількісне

управління проектом, яким відповідають категорії управління процесами та управління проектами відповідно. На п'ятому рівні зрілості додаються ще дві фокусні області. Це організаційне управління ефективністю і аналіз причин та вибір варіантів, які відповідають категоріям управління процесами та підтримка. Як і для третього рівня зрілості всі практики четвертого та п'ятого рівнів зрілості повинні мати третій рівень можливості.

Перейдемо до опису структури еталонної моделі SPICE, яка може бути застосована до будь-якої організації розробника ПЗ, що організує процеси придбання, поставки, розробки, використання, розвитку та підтримки ПЗ. Ця модель не залежить від певної організаційної структури управління, моделі життєвого циклу ПЗ, технології програмування. Як видно з таблиці 5, усі процеси еталонної моделі об'єднуються у три групи, які містять п'ять категорій процесів.

Група основних процесів життєвого циклу складається з наступних категорій процесів:

- процеси, що безпосередньо пов'язані зі споживачем (Customer-supplier category – CUS);
- процеси, що встановлюють вимоги до системи і програмного продукту, процеси реалізації та супроводу (Engineering category – ENG)

Група допоміжних процесів життєвого циклу має тільки одну категорію процесів. Це процеси, які забезпечують і підвищують продуктивність інших процесів проекту (Support category – SUP).

Таблиця 5 – Структура еталонної моделі SPICE

Групи процесів еталонної моделі				
Основні процеси		Допоміжні процеси	Організаційні процеси	
Категорії процесів				
CUS	TNG	SUP	MAN	ORG
Кількість процесів/підпроцесів				
8	8	8	4	8
Практики				

Група організаційних процесів життєвого циклу складається з наступних категорій процесів:

- процеси запуску проекту та управління його ресурсами (Management category – MAN);
- процеси, що визначають бізнес-цілі організації та розвивають продукти, ресурси і процеси, що дозволяють досягти бізнес-цілі (Organization category – ORG).

У якості прикладу розглянемо структуру категорії ENG. До неї відносяться процес супроводу системи та програмного забезпечення і підпроцеси процесу розробки:

- аналіз вимог до розробки системи;
- аналіз вимог до програмного забезпечення;
- проектування програмного забезпечення;
- конструювання програмного забезпечення;
- інтеграція програмного забезпечення;
- тестування програмного забезпечення;
- інтеграція та тестування системи.

Еталонна модель має два виміри:

- 1) «процес» – містить твердження про призначення процесів;
- 2) «можливість» – містить набір атрибутів, які придатні до будь-якого процесу, що представляють вимірні характеристики, необхідні для управління процесом і підвищення можливості його виконання.

Атрибути процесів це їх риси, які оцінюються за відповідною шкалою, на якій визначається ступінь володіння процесом відповідною рисою (табл. 6).

Таблиця 6 – Ступінь володіння рисою

Позначення	Найменування	Характеристика
N	Не володіє	0%15%
P	Володіє частково	16%50%
L	Володіє в основному	51%85%
F	Володіє повністю	86%100%

У еталонної моделі SPICE використовується дев'ять атрибутів, які визначають рівень можливості процесу/під процесу. Це наступні атрибути:

1. Виконання процесу.
2. Управління виконанням.
3. Управління робочими продуктами.
4. Визначення процесу.
5. Забезпечення процесу ресурсами.
6. Вимірювання.
7. Кількісне управління процесом.
8. Зміна процесу.
9. Безперервне удосконалення.

На основі володіння рисами атрибутів у табл. 7 визначені рівні можливості окремих процесів еталонної моделі SPICE.

Таблиця 7 – Рівні можливості моделі SPICE

Атрибути	Рівень можливості				
	1	2	3	4	5
1	L/F	F	F	F	F
2		L/F	F	F	F
3		L/F	F	F	F
4			L/F	F	F
5			L/F	F	F
6				L/F	F
7				L/F	F
8					L/F
9					L/F

На основі вербальної репрезентації структури моделей зрілості CMMI та SPICE наведемо їх порівняльний аналіз. При цьому відзначимо їх спільні риси і те, що їх відрізняє. В першу чергу необхідно підкреслити, що фокусні області моделі CMMI і процеси SPICE складаються з окремих практик та існує багато фокусних областей і практик, які мають спільне (однакове) призначення. Наприклад, такі як «Validation» і «Verification». Необхідно підкреслити, що рівень зрілості CMMI складається з «кубиків» (табл. 3), якими є окремі фокусні області (з відповідними рівнями можливості), а рівень можливості моделі SPICE формується з окремих «кубиків» (табл. 7), якими є дев'ять атрибутів з відповідними ступенями володіння рисами (табл. 6). Необхідно підкреслити, що рівень можливості моделі SPICE більш детально опрацьований і їх 6 (від 0 до 5). Використання дев'яти атрибутів дозволяє більш адекватно охарактеризувати кожен рівень по відношенню до конкретних процесів. В свою чергу рівнів можливості моделі CMMI тільки чотири (від 0 до 3) і вони не мають атрибутів, які з різних сторін характеризують кожен рівень. Все це говорить, що модель SPICE краще використовувати для конкретних процесів. Якщо необхідно характеризувати ПР ПЗ організації, то необхідно використовувати модель CMMI. Спільним для обох моделей є те, що первинна документація описує їх тільки на вербальному рівні.

#### Шляхи підвищення якості ПР ПЗ на основі моделей CMMI та SPICE.

1. Подальші кроки підвищення якості ПР ПЗ пов'язані з формалізацією моделі CMMI і використанням математичного моделювання. На теперішній час у роботах [7–9] введені дискретні змінні, які визначають

рівень можливості окремих практик. Розроблено критерій, який є інтегральним показником підвищення рівня зрілості ПР ПЗ і є функцією ступеня належності ПР ПЗ до певного рівня зрілості [7]. На основі цієї функції розроблена математична модель нелінійного програмування з адитивною цільовою функцією, яка дозволяє керівнику організації розробника ПЗ побудувати оптимальну стратегію підвищення рівня зрілості ПР ПЗ в умовах обмежених ресурсів. Роботи [8–12] є подальшим розвитком дослідження [7] шляхом використання теорії корисності і розробки математичних моделей, які базуються на ковзному плануванні. Це дозволило за рахунок спрощеної динамічної моделі зменшити розмірність задачі, а за рахунок статичної моделі підвищити точність результату. Статична модель є задачею багатокритеріальної оптимізації і у роботі [8] розглянуто три постановки задачі, одна з яких була використана при розробці відповідної інформаційної технології. Тому один з напрямків підвищення рівня зрілості ПР ПЗ є розгляд наступних постановок статичної моделі:

- дослідження моделі, яка спрямована на компромісне рішення щодо різних категорій моделі СММІ і двох груп функцій корисності;
- вирішення задачі, в якій визначається компромісне рішення між ступенем досягнення поставленої мети (цільового профайла) і необхідними для цього інтегральними ресурсами (фінанси і час).

2. Розробка плану управління якістю ПР ПЗ пов'язана з різного роду ризиками. Аналіз та управління проектними ризиками є загально визнаною методологією реалізації проектів і перетворилося у невід'ємну частину ведення бізнесу. Можна перелічити низку переваг, які дає аналіз ризиків керівництву ІТ-компанії: більш глибоке розуміння специфіки проекту, яке дозволяє формувати більш реалістичні плани і бюджети проекту; розуміння природи ризиків і їх потенційні наслідки; можливість оцінки резервів для забезпечення зменшення впливу ризиків на виконання проекту тощо. Все це говорить, що у подальшому необхідно, при формалізації моделі СММІ для управління якістю ПР ПЗ, урахувати різного роду ризики.

3. На теперішній час для вирішення задачі покращення якості ПР ПЗ на основі математичних моделей було використано тільки моделі СММІ. Однак, на основі попереднього аналізу виявлено, що модель зрілості SPICE більш адекватно описує окремі процеси ПР ПЗ. Тому однією з задач, яку у подальшому доцільно вирішувати, є використання вербального опису моделі SPICE для розробки математичних моделей управління якістю окремих процесів. Як було підкреслено вище, при управлінні якістю ПР ПЗ на основі моделі зрілості СММІ не враховуються:

- особливості методології управління проектами і моделі ЖЦ ПР ПЗ, які використовуються в організації;
- особливості предметної області;
- цілі ІТ- організації.

Тому є доцільним розробка на основі моделі SPICE нової моделі зрілості, яка буде враховувати ці особливості для управління якістю не окремого процесу, а всього ПР ПЗ ІТ- організації.

4. Якщо на базі моделі зрілості SPICE розробити нову модель, яка буде враховувати ті недоліки, які притаманні моделі СММІ при оцінці зрілості ПР ПЗ організації, то ми будемо мати модель для внутрішнього аудиту. З іншого боку, модель зрілості СММІ використовується для зовнішнього аудиту, який необхідний компанії при залученні нових об'ємів робіт. Тому одним з досліджень шляхів підвищення якості ПР ПЗ є пошук компромісного рішення між оцінкою ПР ПЗ на основі цих двох моделей.

#### Список літератури

1. Persse J. R. *Process Improvement Essentials*. O'Reilly, 2006. 352 p.
2. Poulin L. A. *Reducing risk with software process improvement*. Auerbach Pubs, 2005. 288 p.
3. Schlickman J. *ISO 9001:2000 Quality Management System Design*. Artech House, 2003. 406 p.
4. Mutafelija B. *Process improvement with CMMI v1.2 and ISO standards*. Auerbach Pubs, 2009. 406 p.
5. Chrissis M. B., Konrad M., Shrum S. *CMMI: Guidelines for Process Integration and Product Improvement*. Addison-Wesley, 2003. 688 p.
6. Pyzdek T., Keller P. A. *The Six Sigma Handbook*. 5-th Ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018. 20 p.
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., 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.
9. 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.
10. Годлевский М. Д., Рубин Э. Е., Голоскокова А. А. Улучшение качества процесса разработки программного обеспечения на основе методов последовательного анализа вариантов и локальной оптимизации. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. Харків: НТУ «ХПІ», 2014. № 55 (1097). С. 5–10.
11. 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 Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. Харків: НТУ «ХПІ», 2017. № 51 (1272). С. 32–37.
12. 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 Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. Харків: НТУ «ХПІ», 2017. № 55 (1276). С. 26–30.

#### References (transliterated)

1. Persse J. R. *Process Improvement Essentials*. O'Reilly, 2006. 352 p.
2. Poulin L. A. *Reducing risk with software process improvement*. Auerbach Publ., 2005. 288 p.
3. Schlickman J. *ISO 9001:2000 Quality Management System Design*. Artech House Publ., 2003. 406 p.
4. Mutafelija B. *Process improvement with CMMI v1.2 and ISO standards*. Auerbach Publ., 2009. 406 p.

5. Chrissis M. B., Konrad M., Shrum S. *CMMI: Guidelines for Process Integration and Product Improvement*. Addison-Wesley Professional Publ., 2003. 688 p.
6. Pyzdek T., Keller P. A. *The Six Sigma Handbook. 5-th Ed.* New York, McGraw-Hill Education Publ., 2018. 20 p.
7. Godlevskiy M.D., Braginskiy I. L. Dinamicheskaya model i algoritm upravleniya kachestvom protsessa razrabotki programmnyh sistem na osnove modeli zrelosti [Dynamic model and quality management algorithm for the development of software systems based on the maturity model]. *Problemy informatsionnykh tekhnologiy* [Information Technology Issues]. Herson, OLDI-Plyus Publ., 2012, pp. 6–13.
8. Godlevskiy M. D., Goloskokova A. A. Sintez staticheskikh modelej planirovaniya uluchsheniya kachestva processa razrabotki programmnogo obespecheniya [Synthesis of static planning models for improving the quality of the software development process]. *Skhidno-Evropejs'kij zhurnal peredovih tekhnologij* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]. Kharkiv, PP «Tehnologichnij centr» Publ., 2015, no. 3/2 (75), pp. 23–29.
9. Godlevskiy M. D., Rubin E. E., Goloskokova A. A. Dinamicheskaya model' planirovaniya uluchsheniya kachestva processa razrabotki programmnogo obespecheniya [A dynamic planning model for improving the quality of the software development process]. *Visnyk NTU "KhPI": zb. nauk. pr. Seriya: Sy'stemny'janaliz, upravlinnya ta informacijnitexnologiyi* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2015, no. 58 (1167), pp. 3–6.
10. Godlevskiy M. D., Rubin E. E., Goloskokova A. A. Uluchshenie kachestva processa razrabotki programmnogo obespecheniya na osnove metodov posledovatel'nogo analiza variantov i lokal'noj optimizacii [Improving the quality of the software development process based on methods of sequential analysis of options and local optimization]. *Visnyk NTU «KhPI»: zb. nauk. pr. Seriya: Sy'stemny'janaliz, upravlinnya ta informacijnitexnologiyi* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2014, no. 55 (1097), pp. 5–10.
11. 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'janaliz, upravlinnya ta informacijnitexnologiyi* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2017, no. 51 (1272), pp. 32–37.
12. 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'janaliz, upravlinnya ta informacijnitexnologiyi* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2017, no. 55 (1276), pp. 26–30.

*Надійшло (received) 05.09.2019*

#### *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; тел.: (057) 707-65-20; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2872-0598>; e-mail: [god\\_asu@kpi.kharkov.ua](mailto:god_asu@kpi.kharkov.ua)

**Гончаренко Тетяна Євгенівна** – кандидат педагогічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувачка кафедри іноземних мов, тел. (057)707-63-32; e-mail: [tatianagoncharenko1806@gmail.com](mailto:tatianagoncharenko1806@gmail.com)

**Бурлаков Георгій Олександрович** – «SheerChain» ОУ, головний виконуючий директор; тел.(050) 400-60-70; e-mail: [george@sheerchain.com](mailto:george@sheerchain.com)

**Малець Дмитро Костянтинівич** – Technorely Inc., головний виконуючий директор; тел.: (095) 509-71-30; e-mail: [dmitriy@technorely.com](mailto:dmitriy@technorely.com)

**Годлевський Михаил Дмитриевич** – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующий кафедрой программной инженерии и информационных технологий управления; тел.: (057) 707-65-20; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2872-0598>; e-mail: [god\\_asu@kpi.kharkov.ua](mailto:god_asu@kpi.kharkov.ua)

**Гончаренко Татьяна Евгеньевна** – кандидат педагогических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующая кафедрой иностранных языков, тел. (057)707-63-32; e-mail: [tatianagoncharenko1806@gmail.com](mailto:tatianagoncharenko1806@gmail.com)

**Бурлаков Георгий Александрович** – «SheerChain» ОУ, главный исполнительный директор; тел.(050) 400-60-70; e-mail: [george@sheerchain.com](mailto:george@sheerchain.com)

**Малец Дмитрий Константинович** – Technorely Inc., главный исполнительный директор;; тел.: (095) 509-71-30; e-mail: [dmitriy@technorely.com](mailto:dmitriy@technorely.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; тел.: (057) 707-65-20; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2872-0598>; e-mail: [god\\_asu@kpi.kharkov.ua](mailto:god_asu@kpi.kharkov.ua)

**Goncharenko Tetiana Yevhenivna** – Candidate of Pedagogical Sciences, Assistant Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Head of Foreign Languages Department; phone.: (057) 707-64-32; e-mail : [tatianagoncharenko1806@gmail.com](mailto:tatianagoncharenko1806@gmail.com)

**Burlakov Heorhii Oleksandrovych** – «SheerChain» ОУ, Chief Executive Officer; тел.: (050) 400-60-70; e-mail: [george@sheerchain.com](mailto:george@sheerchain.com).

**Malets Dmytro Kostyantynovych** – Technorely Inc Chief Executive Officer; тел.: (095) 509-71-30; e-mail: [dmitriy@technorely.com](mailto:dmitriy@technorely.com)