

**М. Д. ГОДЛЕВСЬКИЙ**, доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», директор інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій; м. Харків, Україна; e-mail: god\_asu@kpi.kharkov.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2872-0598>

**Г. О. БУРЛАКОВ**, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант, м. Харків, Україна; e-mail: george@sheerchain.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0423-6024>

## ВЕРБАЛЬНИЙ ОПИС ТЕХНОЛОГІЇ ПЛАНУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПІДМНОЖИНИ ПРОЦЕСІВ ЕТАЛОННОЇ МОДЕЛІ ЗРІЛОСТІ SPICE

Зазначено, що для вирішення задачі розробки інформаційної технології планування підвищення рівня зрілості підмножини процесів еталонної моделі зрілості SPICE, попередньо це питання необхідно розглянути на вербальному рівні як технологію (послідовність етапів) реалізації поставленої проблеми. На першому етапі проведено формалізацію структури еталонної моделі SPICE, яка складається з множини окремих процесів. Ця множина представлена як ієрархічна структура: перший рівень – множина процесів і підпроцесів; другий рівень – множина груп процесів; третій рівень – множина категорій процесів. На другому етапі розглянуто метод оцінки рівня можливості окремого процесу/підпроцесу еталонної моделі зрілості SPICE, який наведено з погляду двох вимірів моделі SPICE: призначення процесів; атрибути процесів (вимірні характеристики, необхідні для управління процесом і підвищення можливості його виконання). Третій етап технології присвячено синтезу моделі планування розвитку підмножини процесів моделі SPICE, яка визначає рівень якості окремої складової процесу розробки програмного забезпечення (ПР ПЗ), що в свою чергу позитивно впливає на рівень розробки програмних систем. Оцінка та планування рівня можливості підмножини процесів реалізується на деякому плановому періоді в умовах обмежених ресурсів на основі їх оптимального розподілу з урахуванням важливості окремих процесів та їх практик упродовж планового періоду. На четвертому етапі технології розглядається алгоритм планування розвитку підмножини процесів еталонної моделі зрілості SPICE на основі методу послідовного аналізу варіантів. Це обумовлено в першу чергу тим, що модель оптимізації має адитивну цільову функцію. Метод дозволяє під час його використання відкидати ті допустимі рішення, які не містять оптимальних. У подальшому при конкретизації моделі планується вибрати алгоритм, який відноситься до цього методу і адаптувати його до розв'язання поставленої задачі. П'ятий етап присвячено інформаційній технології реалізації розробленої моделі та алгоритму. На цьому етапі вирішується наступна множина задач. Аналіз бізнес-процесів технології покращення якості ПР ПЗ. Визначення вимог до ПЗ. Формування діаграми варіантів використання. Розробка моделей даних. Обґрунтування вибору інструментарію для розробки ПЗ. Вибір еталонної системної архітектури. Далі кодування і тестування ПЗ. На шостому етапі на основі інформаційної технології формується множина варіантів плану підвищення якості підмножини процесів моделі зрілості SPICE з метою підтримки прийняття рішення керівництвом ІТ-компанії. Для цього попередньо визначається множина ефективних рішень, яка пропонується для визначення остаточного варіанта, який реалізується у подальшому.

**Ключові слова:** рівень зрілості, підмножина процесів, процес розробки програмного забезпечення, технологія, модель, метод послідовного аналізу варіантів, множина ефективних рішень.

**Вступ.** Розробка програмного забезпечення стала складним процесом, який різні автори у сфері програмної інженерії визначають у свій спосіб, намагаючись підкреслити найбільш важливі, на їхню думку, аспекти, етапи і суть даного поняття. У розділі «Інформаційні технології» глосарію «Gather» надається таке визначення процесу розробки програмного забезпечення (ПР ПЗ): управління специфікаціями, проектуванням, програмуванням, тестуванням, інсталяцією та навчанням, пов'язаними з конкретним проектом розробки додатків будь-якого розміру [1]. Це визначення відображає одне з найбільш поширених точок зору ПР ПЗ, поділеного на чіткі етапи. Іншими словами, ПР ПЗ – це структурований підхід до розробки програмного забезпечення для системи чи проекту [2]. Процес розробки програмного забезпечення також можна визначити як «набір дій, методів, практик і перетворень, які люди використовують для розробки та підтримки програмного забезпечення та пов'язаних продуктів». Згідно з Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), процес розробки програмного забезпечення – це процес, за допомогою якого потреби користувача перетворюються на програмні продукти. Для розробки програмних продуктів були прийняті різні методи розробки програмного забезпечення, такі як: модель

водоспаду, ітеративна та інкрементна модель, спіральна модель, V-модель, швидка розробка програм, модель прототипування, гнучка модель та гібридна спіральна модель [3]. Як бачимо, ПР ПЗ став сукупним поняттям, яке охоплює всі складові, які свідчать про постійне ускладнення як самого процесу розробки, так і способів контролю його якості.

Спираючись на вищевказані визначення можна прийти до висновку, що сьогодні управління розробкою є складним і комплексним завданням, яке вимагає відповідного підходу для розробки відповідної програмної системи. Почнемо з того, що навіть такий простий раніше процес як визначення вимог до кінцевого програмного продукту на даний момент потребує залучення спеціалістів і відіграє важливу роль, про що зазначено у праці [4]. Робота [5] присвячена впливу критичних факторів на успіх покращення процесу розробки. Також складність програмного забезпечення впливає і на те, що зараз навіть складно уявити, щоб процес розробки дійсно складних програмних систем відбувався за участі лише однієї команди або лише в одному місці. Тому проводяться різноманітні дослідження з питань розробки ПЗ глобально розподіленими командами, проектами та компаніями [6], [7] та виявлення бар'єрів, які обмежують обмін неявними знан-



нями в командах [8]. І це лише один з прикладів розширення ПР ПЗ додатковими процесами, про які раніше не велася й мова.

Таким чином, ці дослідження свідчать, що ПР ПЗ відіграє важливу роль у розробці якісного програмного продукту і питання його покращення актуальне.

**Постановка та мета задачі дослідження.** Хоча програмне забезпечення є важливим у всіх сферах сучасного світу, сама розробка програмного забезпечення ще не стала ідеальним процесом. Незважаючи на спроби застосувати методології розробки програмного забезпечення, розробка ПЗ не була постійно успішною, про що свідчить висока кількість відкладених, залишених або відхилених проєктів програмного забезпечення. Велика кількість досліджень показує, що фактори успіху проєкту можуть бути пов'язані з вартістю, часом доставки, масштабом і якістю. Таким чином, відсутність якості безпосередньо сприяє провалу проєкту. Гнучкі методології були поширені, щоб покращити якість програмного забезпечення та легше реагувати на зміни. На жаль, результати підтверджують, що цієї мети ще не досягнуто, і відсутність якості програмного забезпечення продовжує викликати занепокоєння [9].

Багато дослідників застосовували концепцію вдосконалення програмного процесу (Software Process Improvement, SPI), щоб зосередитися на якості програмного забезпечення. SPI розглядається як життєво важливий аспект оптимізації процесу розробки програмного забезпечення, особливо для малих і середніх організацій. Однією з найбільших проблем індустрії програмного забезпечення є розробка ініціатив щодо впровадження SPI, які ефективно допоможуть малим і середнім організаціям. Наразі дослідницькі зусилля зосереджені на впровадженні стандартів/фреймворків SPI для підвищення якості програмного забезпечення та підвищення продуктивності [10].

Поняття управління якістю за своєю суттю є невловимим, оскільки воно має різне значення для різних людей, на різних ролях, у різних ситуаціях і в різний час. Нижче наведено низку стандартів, які використовуються для розробки програмного забезпечення. ISO 9001 визначає набір операційних процесів і пропонує проєктування, документування, впровадження, моніторинг і постійне вдосконалення цих операційних процесів. ISO/IEC 9126: цей стандарт містить модель якості програмного забезпечення та набір показників для підтримки моделі. ISO/IEC 25010: у 2011 році цей стандарт замінив ISO 9126. Він містить модернізований набір атрибутів якості, і, зокрема, атрибутам, пов'язаним з безпекою, приділено більше уваги. ISO/IEC 15504: цей стандарт, який іноді називають SPICE, охоплює широкий набір процесів, пов'язаних із придбанням, розробкою, експлуатацією, постачанням, обслуговуванням і підтримкою програмного забезпечення. CMM/CMMI: термін CMM розшифровується як Capability Maturity Model і визначає процеси розробки програмного забезпечення. Він структурований таким чином, що організацію розробки можна визначити як таку, що належить до одного з набору рівнів зрілості, залежно від процесів, які вона має.

Моделі зрілості особливо користуються популярністю серед підходів, які підвищення якості ПР ПЗ. Тому їх використовують для управління не лише якістю, а й людськими ресурсами [11]. Але існує низка проблем, які відносяться до моделей зрілості.

Першою проблемою є відсутність формалізованого опису моделей зрілості. Хоч згідно [12] 52,17% (48 досліджень) вибраних досліджень назвали фактор «план впровадження SPI» як ефективний SSF, який має позитивний вплив на галузь малого програмного забезпечення, та все ж впровадження вдосконалення якості ПР ПЗ досі викликають труднощі у компаніях. Перш за все це пов'язано з тим, що не існує формалізованого опису для моделей зрілості. Тому дослідження в даному напрямку залишаються дуже актуальними.

Друга проблема представляє собою те, що існуючі формалізовані моделі зрілості надають оцінки якості ПР ПЗ без врахування особливостей ІТ-компанії. Для CMMI було формалізовано опис та створено програмне забезпечення [13-16], яке дозволяє компаніям легко впроваджувати дану модель зрілості, однак хоч CMMI реалізована у двох варіантах (безперервному та дискретному) та все ж має такий недолік як відсутність врахування особливостей ІТ-компанії. Вона не враховує специфічні технології та моделі життєвих циклів, що використовують конкретна компанія, не враховує особливості предметної області та цілі організації. З іншого боку, модель SPICE дозволяє компенсувати вищезгаданий недолік моделі CMMI, однак не має змоги надавати оцінку ПР ПЗ в цілому, оскільки реалізований лише в безперервному виді, що свідчить про третю проблему. Окремі моделі описують не весь ПР ПЗ, а лише окремі його процеси. Звідси витікає те, що модель SPICE може оцінювати рівні можливості окремих процесів, але для неї не сформовані поняття рівня зрілості всього ПР ПЗ ІТ-компанії.

І четвертою проблемою є відсутність моделей та методів, які описують не лише оцінку якості, а й процес планування розвитку ПР ПЗ і керування цим процесом. Таким чином, можна зробити висновок, що незважаючи на велику кількість досліджень, усі наявні методи та моделі не задовольняють потребу ІТ-компаній у наданні загальної оцінки її ПР ПЗ та оцінки окремо всіх його підпроцесів, серед яких є й ті, що відображають особливості розробки у даній ІТ-компанії, у тому числі з можливістю планування подальшого розвитку й покращення якості кожного підпроцесу, властивому цій компанії, з метою підняття загального рівня зрілості всього ПР ПЗ.

Отже метою роботи є вербальний опис технології планування підвищення якості підмножини процесів еталонної моделі зрілості SPICE, який є першою стадією розробки відповідної інформаційної технології.

**Вербальний опис технології планування підвищення якості підмножини процесів еталонної моделі зрілості SPICE.** Для вирішення задачі розробки моделей, методів та інформаційної технології планування підвищення рівня зрілості підмножини процесів еталонної моделі зрілості розглянемо це питання на

вербальному рівні у вигляді технології реалізації проблеми (послідовності етапів). На рис. 1 наведена у наочній формі така технологія. Розглянемо докладно її етапи реалізації з метою у подальшому формалізації кожного з них.



Рис. 1. Технологія підвищення якості підмножини процесів моделі SPICE

Етап 1. Формалізація структури еталонної моделі SPICE. Еталонна модель SPICE на відміну від моделі CMMI має тільки безперервний варіант розвитку стосовно окремих процесів та підпроцесів моделі. Кожний з них має своє призначення при реалізації процесу розробки програмного забезпечення ІТ-компанії. Враховуючи те, що метою подальшого наукового дослідження є формалізація вербального опису окремих процесів моделі зрілості SPICE, а також розробка моделі та алгоритму планування підвищення рівня зрілості деякої підмножини процесів, яким приділяється особлива увага керівництвом ІТ-компанії, в умовах обмежених ресурсів виникає проблема формалізації опису всієї множини процесів моделі SPICE. Ця множина може бути представлена у вигляді ієрархічної структури. До першого рівня ієрархії відносяться вся множина процесів і підпроцесів еталонної моделі зрілості SPICE. Другому рівню відповідає множина груп процесів. Таких груп три: основні процеси; допоміжні процеси; організаційні процеси. В свою чергу, кожна група процесів складається з певної множини категорій процесів, які відповідають третьому рівню ієрархічної системи.

З огляду на еталонну модель SPICE основні процеси містять в собі наступні категорії: процеси, що безпосередньо пов'язані зі споживачем; процеси, що встановлюють вимоги до системи і програмного

продукту, процеси реалізації та супроводу. Допоміжні процеси мають одну категорію. Це процеси, які забезпечують і підвищують продуктивність інших процесів проекту. Організаційні процеси мають наступні категорії: процеси запуску проекту та управління його ресурсами; процеси, що визначають бізнес-цілі організації і дозволяють їх досягти. На четвертому рівні знаходяться окремі процеси і підпроцеси. На п'ятому рівні – практики, на основі яких реалізуються процеси і підпроцеси.

Отже, вербально наведена структура еталонної моделі SPICE, яку у подальшому буде формалізовано з метою використання при синтезі динамічної моделі планування розвитком підмножини її процесів.

Етап 2. Метод оцінки рівня можливості окремого процесу еталонної моделі зрілості SPICE. Одним з ключових питань є формалізація проблеми оцінки рівня можливості окремого процесу/підпроцесу еталонної моделі зрілості SPICE. Фактично стоїть задача розробки методу оцінки. Відповідно до вербального опису моделі SPICE, вона має два виміри:

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

Атрибути процесів це їх риси, які оцінюються за деякою шкалою, на якій визначається ступінь володіння процесом/підпроцесом відповідною рисою. З метою візуалізації цього питання можна провести порівняння з функцією приналежності у теорії нечітких множин (рис. 2)



Рис. 2. Наочна інтерпретація

де: *N* – не володіє; *P* – володіє частково; *L* – володіє в основному; *F* – володіє повністю.

У еталонній моделі SPICE використовується дев'ять атрибутів, які визначають рівень можливості процесу або підпроцесу. 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, завдяки вербальному опису моделі SPICE, визначається рівень можливості окремих процесів/підпроцесів наступним чином. Процес має перший рівень можливості, якщо перший атрибут має ступінь володіння своєю рисою  $L/F$ . Другий рівень відповідає ступеню володіння рисою першого атрибута  $F$ , а другого та третього  $L/F$ . Процес/підпроцес досягає третього рівня можливості, коли перший, другий та третій атрибути мають ступінь володіння рисою  $F$ , а четвертий та п'ятий –  $L/F$ . Далі процес/підпроцес мають четвертий рівень можливості, коли атрибути з першого по п'ятий мають ступінь володіння рисою  $F$ , а шостий та сьомий –  $L/F$ . І під кінець п'ятий рівень можливості процесу/підпроцесу відповідає ступеню володіння рисою атрибутів з першого по сьомий  $F$ , а восьмого та дев'ятого –  $L/F$ .

Отже, згідно з таким вербальним описом рівня можливості окремого процесу/підпроцесу стоїть задача формалізації поняття «оцінка рівня можливості».

Етап 3. Синтез моделі планування розвитку підмножини процесів моделі SPICE. Оцінка рівня можливості окремого процесу/підпроцесу або деякої множини процесів еталонної моделі SPICE визначає рівень якості окремої складової процесу розробки програмного забезпечення, що в свою чергу впливає на рівень розробки програмних систем, підвищує ймовірність того, що ІТ-проект буде виконано вчасно на запланованому рівні якості та виконання наперед заданих функціональних і нефункціональних вимог. Крім цього, зменшується ризик провальних проєктів. Але оцінка рівня можливості процесу є більш актуальною і важливою, якщо вона реалізується на деякому плановому періоді на множині окремих його відрізків. Отже, можна стверджувати, що така інформація на порядок більш вагома ніж статичний варіант. Набагато більш актуальною є розв'язання задачі управління (планування) такими оцінками в умовах обмежених ресурсів на основі наперед заданого критерія або множини критеріїв, кожний з яких має свої вагові коефіцієнти. Для множини процесів така задача вирішується за рахунок оптимального розподілу ресурсів між ними з урахуванням важливості кожного з них протягом планового періоду. Це дозволяє з деякою ймовірністю наперед оцінювати якість програмних продуктів, яка напряму залежить від якості процесу розробки програмного забезпечення.

Отже, виникає задача формування динамічної моделі планування підвищення рівня можливості підмножини процесів/підпроцесів моделі SPICE. Таку модель будемо синтезувати як дискретний процес на плановому періоді  $[0, T]$ , тривалість якого і кількість підперіодів планування визначаються керівництвом ІТ-компанії залежно від тих задач, які перед нею стоять. Якщо ми розглядаємо підмножину процесів моделі SPICE, то будемо вважати, що вона на кожному підперіоді планування характеризується деяким станом  $\bar{X}_t$ . Цей стан дозволяє провести оцінку рівня можливості кожного процесу і їх множини. Будемо

вважати, що  $\bar{X}_0 = \bar{X}^0$  визначає початковий стан системи з погляду планового періоду. У результаті можна запропонувати наступну залежність стану  $\bar{X}_t$  від стану  $\bar{X}_{t-1}$

$$\bar{X}_t = \bar{F}_t(\bar{X}_{t-1}, r_t), \quad t \in [1, T],$$

де  $r_t$  – варіант керуючого впливу, який залежить від фінансових ресурсів. Вище було підкреслено, що процес, який розглядається, реалізується в умовах обмежених ресурсів. Нехай  $r_t \in R_t$ , де  $R_t$  – множина варіантів розвитку процесу, яка залежить від виділених на  $t$ -му підперіоді фінансових ресурсів. Далі будемо вважати, що на основі стану  $\bar{X}_{t-1}$  і керуючого впливу  $r_t$  може бути проведена оцінка рівня можливості всіх процесів, які розглядаються

$$\Phi_t(\bar{X}_{t-1}, r_t), \quad t \in [1, T].$$

У результаті стоїть задача максимізувати суму таких оцінок на плановому періоді за допомогою множини управляючих впливів  $\{r_t\}$ . Така задача називається динамічною задачею дискретної оптимізації та може бути сформована у такий спосіб

$$\begin{aligned} \max_{\{r_t\}} \sum_{t=1}^T \Phi_t(\bar{X}_{t-1}, r_t) + \Phi_0(\bar{X}_0), \quad \bar{X}_t = \\ = \bar{F}_t(\bar{X}_{t-1}, r_t), \quad r_t \in R_t, \quad t \in [1, T]. \end{aligned}$$

Етап 4. Розробка алгоритму планування розвитку підмножини процесів еталонної моделі зрілості SPICE на основі методу послідовного аналізу варіантів. При виборі методу, а на його основі алгоритму оптимізації моделі, необхідно ретельно вивчити структуру моделі, її характеристики. Як відомо, всі моделі можна поділити на аналітичні та алгоритмічні. У цьому разі ми будемо розглядати аналітичну модель. В свою чергу, такі моделі можна поділити на моделі з безперервними змінними і дискретні моделі. Як варіант – гібридні моделі, які мають дискретні і безперервні змінні. У подальшому ми будемо розглядати модель з дискретними змінними, на цільову функцію якої накладаються ресурсні обмеження. Крім цього, необхідно підкреслити, що модель має адитивну цільову функцію.

На основі такого аналізу можна зробити висновок, що одним з найбільш придатних методів для оптимізації моделі є метод послідовного аналізу варіантів. Він дозволяє під час його використання відкидати ті допустимі рішення, які не містять оптимальних. По іншому можна сказати, що це процедура спрямованого перебору варіантів, під час якого стає відомо, що деякі з них не входять до оптимального рішення.

Одними з перших праць, в яких було запропоновано такий підхід до оптимізації моделей були наукові напрацювання таких видатних вчених як Беллман Р., Вальд А., Айзекс Р. У подальшому при

конкретизації моделі планування розвитку підмножини процесів еталонної моделі зрілості SPICE необхідно буде вибрати деякий алгоритм, який відноситься до цього методу, і адаптувати його до розв'язання поставленої задачі.

Етап 5. Інформаційна технологія планування підвищення якості підмножин процесів еталонної моделі зрілості SPICE. На цьому етапі вирішується наступна множина задач. Аналіз бізнес-процесів технології покращення якості ПР ПЗ. Визначення вимог до ПЗ. Формування діаграми варіантів використання. Розробка моделей даних. Обґрунтування вибору інструментарію для розробки ПЗ. Вибір еталонної системної архітектури. Далі кодування і тестування ПЗ.

Етап 6. Формування множини варіантів плану підвищення якості підмножини процесів моделі зрілості SPICE з метою підтримки прийняття рішень ОПР.

Розглянемо задачу підтримки прийняття рішень безпосередньо до формування плану підвищення якості підмножини процесів моделі зрілості SPICE. Необхідно підкреслити, що на п'ятому етапі технології, яку представлено на рис. 1, інформаційна технологія дозволяє визначити деякий конкретний план підвищення якості процесів моделі SPICE, але маючи тільки один варіант плану неможливо прийняти рішення з метою його реалізації на практиці. Необхідно сформулювати декілька альтернативних планів на основі варіювання множини різних параметрів і на основі теорії прийняття рішень визначити деякий компромісний варіант. Розглянемо це питання у загальному вигляді з метою його реалізації при дослідженні моделі етапу 3. По-перше, необхідно визначити, якого типу процес прийняття рішень розглядається. Можуть бути представлені два варіанта: колективне прийняття рішень і одноосібне. Звісно, що у процесі прийняття рішень приймає участь три типи осіб: експерти; особи, що формують рішення (ОФР); особи, що приймають рішення (ОПР) [17, 18]. ОФР це фактично аналітики, які розробляють модем, алгоритми і технології формування компромісних (конструктивних) рішень за згодою з ОПР. Тому фактично поняття колективного та одноосібного прийняття рішень відноситься до експертів і ОПР. У нашому разі ОПР це керівники ІТ-компанії або господарі компанії. Множина експертів формується з кваліфікованого складу працівників ІТ-компанії, керівників відповідних підрозділів. В деяких випадках залучаються фахівці з інших компаній як незалежні експерти. Перейдемо до розгляду основних етапів розв'язання задачі прийняття рішень.

Перший етап – визначення мети задачі. Будемо вважати, що мета визначена і як це було розглянуто вище – підвищення рівня зрілості ПР ПЗ.

Другий етап – формування основних умов, припущень, базових основ, вихідних даних при побудові моделі об'єкта дослідження, який реалізує поставлену мету. Будемо вважати, що на основі групи осіб, що приймають рішення за допомогою відповідних експертів, прийнято рішення, що така модель буде створена на основі еталонної моделі зрілості SPICE. А метою є планування підвищення зрілості (якості) деякої підмножини процесів моделі SPICE, яка з

погляду ОПР є найбільш важливою для ІТ-компанії на даному етапі її функціонування.

Третій етап – безпосередня побудова моделі на основі всіх допущень, які було зроблено на попередньому етапі. До формування такої моделі долучається команда ОФР, яка визначається ОПР або групою ОПР. Ця задача реалізується на основі етапів 2, 3, 4 технології підвищення якості підмножини процесів моделі SPICE (рис. 1). Будемо вважати, що і алгоритм оптимізації моделі також реалізується цією командою ОФР.

Четвертий етап – визначення основних показників (критеріїв), на основі яких у подальшому припускається аналіз множини можливих варіантів плану розвитку підмножини процесів моделі SPICE з метою визначення деякого компромісного варіанта.

Необхідно підкреслити, що при розв'язанні багатокритеріальних задач одним з підходів є визначення основного (головного) критерію, на основі якого проводиться оптимізація, а всі інші критерії повинні бути не менше (не більше) деяких встановлених величин  $t_i$ , які називаються пороговими значеннями

$$f_i(x) \rightarrow \max \quad (1)$$

$$x \in \bar{X}, f_i(x) \geq t_i, i = 1, 2, \dots, m; i \neq l \quad (2)$$

де  $m$  – кількість критеріїв, які всі максимізуються.

Оптимальним вважається будь-яке рішення  $x^0$  цієї задачі. Таке рішення завжди є слабо ефективним, а якщо воно єдине, то і ефективним. Питання про вибір головного критерію слід вирішувати так, щоб полегшити призначення величини  $t_i$ . Практично вказується серія наборів  $\{t_i\}$  і для кожного набору вирішується задача (1), (2). Якщо значення  $t_i$  великі, то обмеження можуть виявитись несумісними і задача не буде мати рішення. Тому це питання необхідно враховувати при формуванні серії наборів  $\{t_i\}$  [19].

Перейдемо безпосередньо від загального підходу з розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації до розгляду нашої конкретної проблеми. Будемо вважати, що розглядається двокритеріальна задача, в якій першим критерієм є приріст рівня зрілості (якості) ПР ПЗ, а другим критерій – фінансові ресурси, необхідні для розв'язання цієї задачі. В свою чергу, у якості обмежень будемо використовувати фінансові ресурси, які виділяються на кожному підперіоді планування.

П'ятий етап – на основі визначених критеріїв формування множини варіантів плану підвищення якості підмножини процесів моделі SPICE. Як було визначено, на четвертому етапі задача прийняття рішень розглядається з погляду двох критеріїв. При цьому один критерій – підвищення якості ПР ПЗ – вважається головним, а другий критерій – фінансові ресурси – визначаємо як обмеження, для якого встановлюємо ряд порогових значень, кожне з яких визначає деякий план розвитку підмножини процесів моделі SPICE при фіксованих параметрах моделі. Будемо вважати, що деякі параметри можна варіювати в межах заданих інтервалів. Такими параметрами є:

- вагові коефіцієнти важливості окремих практик і процесів моделі SPICE;
- вагові коефіцієнти важливості окремих підперіодів планування;
- верхні межі обмежень на фінансові ресурси по кожному підперіоду планування при збереженні загальних фінансових ресурсів на всьому періоді планування.

На рис. 3 представлена наочна інтерпретація множини варіантів плану підвищення якості ПР ПЗ залежно від виділених ресурсів і варіювання параметрів. З огляду на фундаментальні властивості системи при фіксованих параметрах моделі можна вважати, що залежність ефективності (якості, корисності, зрілості) від вкладених ресурсів для будь-якої складної системи, наприклад ПР ПЗ, на всьому інтервалі життєвого циклу може бути якісно описана логістичною кривою, яка має три відрізки (рис. 4). Перший відрізок  $[0, S_1]$  опуклий вниз. На цьому рисунку ефективність системи дуже кволо зростає від наданих ресурсів і градієнт зростання збільшується поки опукла вниз залежність не перетворюється у лінійну. На другому відрізку  $[S_1, S_2]$  залежність ефективності від ресурсів наближається до лінійного характеру. На третьому відрізку  $[S_2, +\infty[$  залежність ефективності від ресурсів опукла вгору. Це означає, що ресурси дають менший ефект, ніж на лінійному відрізку, і з деякого моменту нема сенсу надалі вкладати ресурси у підвищення якості системи.

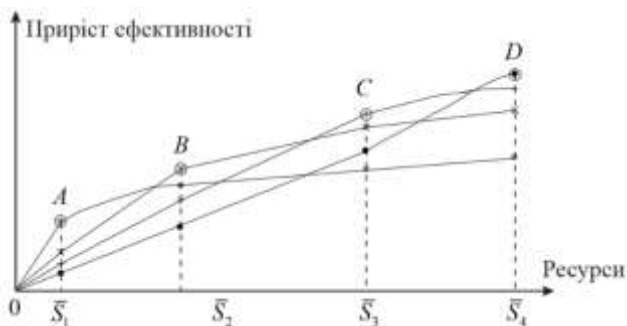


Рис. 3. Множина варіантів плану

Шостий етап – визначення множини ефективних рішень. На початку планування ми маємо деякий вихідний варіант ПР ПЗ з погляду якості процесів моделі SPICE і будемо вважати, що вкладання ресурсів починається на лінійному відрізку залежності, представленої на рис. 4. На рис. 3 визначені варіанти плану для чотирьох варіантів множини параметрів моделі, які позначені наступними символами: «·», «+», «×», «\*». Кожний варіант параметрів моделі використано при оптимізації моделі для чотирьох варіантів обмежень на загальні ресурси:  $\bar{S}_1, \bar{S}_2, \bar{S}_3, \bar{S}_4$ . Враховуючи те, що критерій «Ресурси» мінімізується, а критерій «Приріст ефективності» максимізується, на рис. 3 визначена множина ефективних рішень. Це плани A, B, C, D, які представляються ОПП для вибору остаточного варіанта, який реалізується у подальшому.

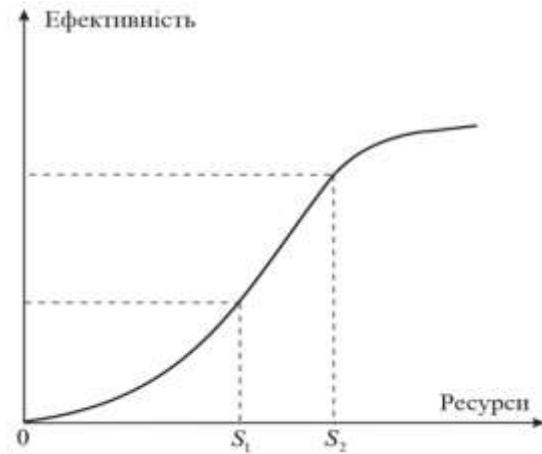


Рис. 4. Фундаментальна властивість системи

**Висновки, шляхи подальших досліджень.** У роботі зазначено, що для вирішення задачі розробки інформаційної технології планування підвищення рівня зрілості підмножини процесів еталонної моделі зрілості SPICE, попередньо це питання необхідно розглянути на вербальному рівні як технологію (послідовність етапів) реалізації поставленої проблеми. На першому етапі проведено формалізацію структури еталонної моделі SPICE, яка складається з множини окремих процесів. На другому етапі розглянуто метод оцінки рівня можливості окремого процесу/підпроцесу еталонної моделі зрілості SPICE, який наведено з погляду двох вимірів моделі SPICE. Третій етап технології присвячено синтезу моделі планування розвитку підмножини процесів моделі SPICE, яка визначає рівень якості окремої складової процесу розробки програмного забезпечення. На четвертому етапі технології розглядається алгоритм планування розвитку підмножини процесів еталонної моделі зрілості SPICE на основі методу послідовного аналізу варіантів. П'ятий етап присвячено інформаційній технології реалізації розробленої моделі та алгоритму. На шостому етапі на основі інформаційної технології формується множина варіантів плану підвищення якості підмножини процесів моделі зрілості SPICE з метою підтримки прийняття рішення керівництвом ІТ-компанії.

Подальші дослідження будуть проводитись у наступних напрямках:

- формалізація методу оцінки рівня можливості окремого процесу моделі зрілості SPICE;
- синтез моделі планування розвитку підмножини процесів моделі зрілості SPICE;
- розробка алгоритму планування розвитку підмножини процесів моделі зрілості SPICE;
- розробка інформаційної технології планування якості підмножини процесів моделі зрілості SPICE.

#### Список використаної літератури

1. Gartner Glossary-Information Technology Glossary-S-Software Development [Electronic resource]: IT part of glossary created by company "Gartner". Electronic text. URL: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/software-development> (дата звернення 23.04.2023).

2. *AcqNotes Program Management Tool for Aerospace: article about software development process*. URL: <https://acqnotes.com/acqnote/careerfields/software-development-process> (дата звернення 23.04.2023).
3. Singh B., Gautam S. The Impact of Software Development Process on Software Quality: A Review. *2016 8th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN)*. URL: [https://www.researchgate.net/publication/320748110\\_The\\_Impact\\_of\\_Software\\_Development\\_Process\\_on\\_Software\\_Quality\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/320748110_The_Impact_of_Software_Development_Process_on_Software_Quality_A_Review) (дата звернення 23.04.2023).
4. Franch X., Palomares C., Quer C. et al. *The state-of-practice in requirements specification: an extended interview study at 12 companies*. Requirements Eng. URL: <https://doi.org/10.1007/s00766-023-00399-7> (дата звернення 25.04.2023).
5. Alsawat Mohammed, Qureshi M. Rizwan. The Impact of Critical Factors for the Successful Software Process Improvement // *International Journal of Computer Applications*. 2022. Vol. 184. P. 25–33.
6. Kuhrmann C. Ebert M., Prikladnicki R. Global software engineering: evolution and trends. *2016 IEEE 11th International Conference on Global Software (ICGSE)*. 2016. P. 144–153.
7. Khan Arif, Keung Jacky. Systematic Review of success factors and barriers for Software Process Improvement in Global Software Development. *IET Software*. 2016. Vol. 10. Pp. 125–135.
8. Mtsweni Emmanuel, Gorejena Koga. Team Barriers to Tacit Knowledge Sharing in Software Development Project Teams. *Electronic Journal of Knowledge Management*. Vol. 21. 2023. P. 59–72.
9. Arcos-Medina Gloria, David Mauricio. The Influence of the Application of Agile Practices in Software Quality Based on ISO/IEC 25010 Standard: Research Anthology on Agile Software, Software Development, and Testing, edited by Information Resources Management Association. *IGI Global*. 2022. P. 1416–1443.
10. Keshta I. *Approaches to software process improvement: A state-of-the-art review*. *Journal of Software*. 2019. Vol. 14. P. 519–529.
11. Moser Patricia Cristina, de Moura Hermano Perrelli. Maturity Models for Managing People in Software Development Teams: A Systematic Literature Review. *International Institute for Science, Technology and Education (IISTE): E-Journals*. 2022. Vol. 12.
12. Balogun Abdullateef, Almomani Malek A., Basri Shuib, Almomani Omar, Capretz Luiz, Khan Arif. Towards the sustainability of small and medium software enterprises through the implementation of software process improvement: Empirical investigation. *Journal of Software: Evolution and Process*. 2022. Vol. 34. 18 p.
13. 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.
14. Годлевский М. Д., Брагинский И. Л. Информационная технология управления качеством процесса разработки программного обеспечения. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. Харків, 2013, № 2/9 (62). С. 63–67.
15. 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.
16. 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.
17. Гнатієнко Г. М., Снитюк В. С. *Експертні технології прийняття рішень: монографія*. Київ: ТОВ «Маклаут», 2008. 444 с.
18. Волошин О. Ф., Машенко С. О. *Теорія прийняття рішень: навч. посіб.* Київ: ВПЦ «Київський університет», 2006. 304 с.
19. Зайченко Ю. П. *Теорія прийняття рішень: підручник*. Київ: НТУУ «КПІ», 2014. 412 с.
20. *Gartner Glossary-Information Technology Glossary-S-Software Development* [Electronic resource]: IT part of glossary created by company "Gather". Electronic text. Available at: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/software-development> (accessed 23.04.2023).
21. *AcqNotes Program Management Tool for Aerospace: article about software development process*. Available at: <https://acqnotes.com/acqnote/careerfields/software-development-process> (accessed 23.04.2023).
22. Singh B., Gautam S. The Impact of Software Development Process on Software Quality: A Review. *2016 8th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN)*. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/320748110\\_The\\_Impact\\_of\\_Software\\_Development\\_Process\\_on\\_Software\\_Quality\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/320748110_The_Impact_of_Software_Development_Process_on_Software_Quality_A_Review) (accessed 23.04.2023).
23. Franch X., Palomares C., Quer C. et al. *The state-of-practice in requirements specification: an extended interview study at 12 companies*. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00766-023-00399-7> (accessed 25.04.2023).
24. Alsawat Mohammed, Qureshi M. Rizwan. (2022). The Impact of Critical Factors for the Successful Software Process Improvement. *International Journal of Computer Applications*. 2022, vol. 184, pp. 25–33
25. Kuhrmann C. Ebert M., Prikladnicki R.. Global software engineering: evolution and trends. [Глобальна програмна інженерія: еволюція та тенденції]. *2016 IEEE 11th International Conference on Global Software (ICGSE)*. 2016, pp. 144–153.
26. Khan Arif, Keung Jacky. Systematic Review of success factors and barriers for Software Process Improvement in Global Software Development. *IET Software*. 2023, vol. 21, pp. 59–72.
27. Mtsweni Emmanuel, Gorejena Koga. Team Barriers to Tacit Knowledge Sharing in Software Development Project Teams. *Electronic Journal of Knowledge Management*. 2023, vol. 21, pp. 59–72.
28. Arcos-Medina Gloria, David Mauricio. The Influence of the Application of Agile Practices in Software Quality Based on ISO/IEC 25010 Standard: Research Anthology on Agile Software, Software Development, and Testing, edited by Information Resources Management Association. *IGI Global*. 2022, pp. 1416–1443.
29. Keshta I. Approaches to software process improvement: A state-of-the-art review. *Journal of Software*. 2019, vol. 14, pp. 519–529.
30. Patricia Cristina Moser, Hermano Perrelli de Moura. Maturity Models for Managing People in Software Development Teams: A Systematic Literature Review. *International Institute for Science, Technology and Education (IISTE): E-Journals*. 2022, vol. 12.
31. Balogun Abdullateef, Almomani Malek A., Basri Shuib, Almomani Omar, Capretz Luiz, Khan Arif. Towards the sustainability of small and medium software enterprises through the implementation of software process improvement: Empirical investigation. *Journal of Software: Evolution and Process*. 2022, vol. 34. 18 p.
32. Hodlevskyy M. D., Brahynskyy Y. L. Dynamicheskaya model' y alhorytm upravlenyya kachestvom protsesssa razrabotky prohrammnykh system na osnove modely zrelosty. *Problemy ynformatsyonnykh tekhnolohyy*. Kherson: OLDY-Plyus Publ., 2012. pp. 6–13.
33. Hodlevskyy M. D., Brahynskyy Y. L. Ynformatsyonnaya tekhnolohyya upravlenyya kachestvom protsesssa razrabotky prohrammnoho obespechenyya [Information technology for quality management of the software development process]. *Vostochno-Evropeyskyy zhurnal peredovykh tekhnolohyy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]. Kharkiv, 2013, no. 2/9 (62). pp. 63–67.
34. Hodlevskyy M. D., Holoskokova A. A. Syntez statycheskykh modeley planirovaniya uluchsheniya kachestva protsesssa razrabotky prohrammnoho obespechenyya [Synthesis of static planning models for improving the quality of the software development process]. *Skhidno-Yevropeys'kyy zhurnal peredovykh tekhnolohiy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]. Kharkiv, 2015, no. 3/2 (75), pp. 23–29.
35. Hodlevskyy M. D., Rubyn E. E., Holoskokova A. A. Dynamicheskaya model' planirovaniya uluchsheniya kachestva protsesssa razrabotky prohrammnoho obespechenyya [Dynamic planning model for improving the quality of the software development process]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu "KhPI"*. Seriya: Systemnyy analiz, upravlinnya ta informatsiyini tekhnolohiyi [Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2015, no. 58 (1167), pp. 3–6.

#### References (transliterated)

1. *Gartner Glossary-Information Technology Glossary-S-Software Development* [Electronic resource]: IT part of glossary created by company "Gather". Electronic text. Available at:

17. Hnatiyenko H. M., Snytyuk V. Ye. *Ekspertni tekhnolohiyi pryynyattya rishen': monohrafiya* [Expert decision-making technologies: monograph]. Kyiv, TOV «Maklout» Publ., 2008. 444 p.
18. Voloshyn O. F., Mashchenko S. O. *Teoriya pryynyattya rishen': navch. posib* [Theory of decision-making: education. manual]. Kyiv, VPTs «Kyivivs'kyi universytet» Publ., 2006. 304 p.
19. Zaychenko Yu. P. *Teoriya pryynyattya rishen': pidruchnyk* [Theory of decision-making: a textbook]. Kyiv, NTUU «KPI» Publ., 2014. 412 p.

Надійшла (received) 11.05.2023

UDC 004.4: 519.816

**M. D. GODLEVSKYI**, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Director of the Institute of Computer Science and Information Technology, Kharkiv, Ukraine; e-mail: god\_asu@kpi.kharkov.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2872-0598>

**G. O. BURLAKOV**, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Graduate Student, e-mail: george@sheerchain.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0423-6024>

### VERBAL DESCRIPTION OF THE TECHNOLOGY FOR PLANNING THE QUALITY IMPROVEMENT OF A SUBSET OF THE PROCESSES OF THE SPICE MATURITY REFERENCE MODEL

It is noted that to solve the problem of developing information technology for planning the increase of maturity level of a subset of the processes of the SPICE reference maturity model, this issue must first be considered at the verbal level as a technology (sequence of stages) for the implementation of the given problem. At the first stage, the structure of the SPICE reference model, which consists of a number of separate processes, was formalized. This set is presented as a hierarchical structure: the first level is a set of processes and subprocesses; the second level is a set of process groups; the third level is a set of process categories. At the second stage, the method of assessing the level of possibility of a separate process/sub-process of the reference maturity model SPICE is considered. It is given from the point of view of two dimensions of the SPICE model: the purpose of the processes; the attributes of the processes (measurable characteristics necessary for managing the process and increasing the possibility of its execution). The third stage of the technology is focused on the synthesis of planning model of the subset development processes for the SPICE model, which determines the quality level of a separate component of the software development process (SDP), which in turn has a positive effect on the level of development of software systems. Assessment and planning of the possibility level of a subset of processes is implemented during a certain planning period under conditions of limited resources based on their optimal distribution, taking into account the importance of individual processes and their practices during the planning period. At the fourth stage of the technology, an algorithm for planning the development of a subset of processes of the reference maturity model SPICE is considered based on the method of sequential analysis of options. This is primarily due to the fact that the optimization model has an additive objective function. The method allows discarding those appropriate solutions that do not contain optimal solutions. In the future, when specifying the model, it is planned to choose an algorithm that belongs to this method and adapt it to the solution of the given problem. The fifth stage is devoted to information technology implementation of the developed model and algorithm. At this stage, the following set of problems is solved. Analysis of business processes of the technology of improving the quality of software development process. Definition of software requirements. Forming a diagram of use cases. Development of data models. Justification of the choice of tools for software development. Selection of reference system architecture. Next, software coding and testing. At the sixth stage, based on information technology, a number of variants of the plan for improving the quality of a subset of the processes of the SPICE maturity model are formed in order to support decision-making by the management of the IT company. For this, a set of effective solutions is preliminarily determined, which is proposed to determine the final option, which is implemented later.

**Keywords:** maturity level, subset of processes, software development process, technology, model, method of sequential analysis of options, set of effective solutions.

#### Повні імена авторів / Author's full names

**Автор 1 / Author 1:** Годлевський Михайло Дмитрович, Godlevskiy Mykhaylo Dmytrovych

**Автор 2 / Author 2:** Бурлаков Георгій Олександрович, Burlakov Georgii Oleksandrovych