

УДК 681.518:658.512

А.О. ЗЕМЛЯНИЙ, М.В. ТКАЧУК

Національний технічний університет «ХПИ», Україна

## МОДЕЛІ ТА ЗАСОБИ ЕКСПЕРТНОЇ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Розглядається приклад програмної системи (ПС) реального часу (РЧ) з певними вимогами до якості, зокрема щодо продуктивності та надійності. Показано актуальність проблеми оцінки ефективності технологій забезпечення якості (ТЗЯ) ПС РЧ. Розглядаються деякі існуючі методи оцінки ТЗЯ і пропонується модель багатовимірного інформаційного простору для комплексної оцінки ТЗЯ. Розробляються моделі та процедури експертної оцінки ТЗЯ, а саме: загальна схема експертної процедури, моделі та інструменти оцінки адекватності, а також модель оцінки питомих трудовитрат на застосування ТЗЯ.

**Ключові слова:** компонентні програмні системи реального часу, технології забезпечення якості програмних систем, експертні методи оцінки ефективності.

### 1. Актуальність проблеми та постановка задачі дослідження

Для програмних систем (ПС) реального часу (РЧ), які широко застосовуються, наприклад, в АСУ ТП, важко переоцінити важливість дотримання вимог щодо якості їх функціонування та супроводу [1, 2]. Серед таких показників якості ПС, які є чітко визначеними міжнародним консорціумом з проблем програмної інженерії у документі SWEBOOK (Software Engineering Body of Knowledge) [3], для ПС РЧ особливу роль мають *продуктивність* (performance) та *надійність* (reliability), тому що саме від них великою мірою залежить безпека життєдіяльності на відповідних об'єктах управління. Типовим прикла-

дом такої ПС є компонентне програмне рішення, яке схематично показано на рис. 1. При цьому 3 програмних додатка: X, Y та Z є клієнтами системи, які через відповідні канали зв'язку обмінюються запитами та отримують дані від 2 серверів системи: сервер А і сервер В, за допомогою протоколу OPC (OLE for Process Control), що є спеціально розробленим стандартом для ПС РЧ [4].

Під *продуктивністю* такої ПС мається на увазі інтервал часу (як правило, в діапазоні кількох мілісекунд), який є потрібним для отримання відповіді сервера на запит додатка-клієнта, а *надійність* визначається як відношення отриманих від сервера пакетів-відповідей до загальної кількості відправлених запитів клієнтів.

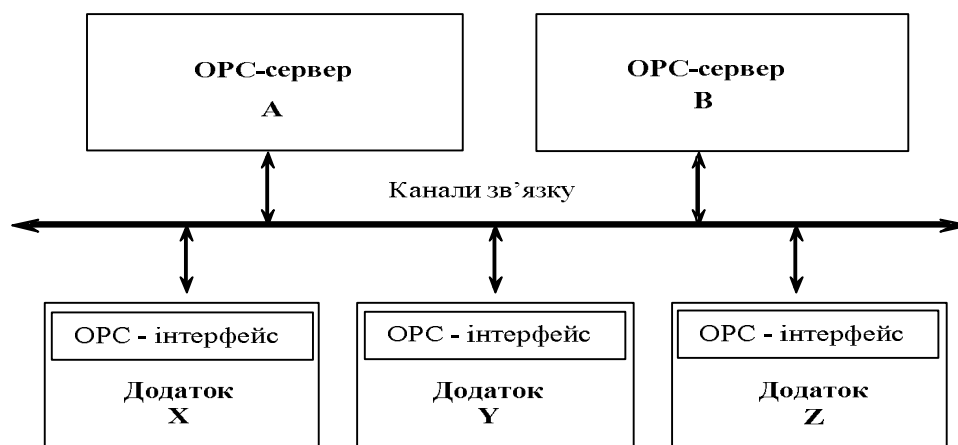


Рис. 1. Спрощена компонентна структура ПС РЧ з застосуванням OPC – стандарту

Для комплексного вирішення цих проблем останнім часом розробляються та набувають поширеного застосування спеціальні технології за-

безпечення якості (ТЗЯ) ПС.

Вони мають у своєму складі певні базові моделі (візуальні, аналітичні, імітаційні тощо), а також

інструментальні програмні засоби, за допомогою яких є можливим побудувати кінцеву модель відповідної ПС та дослідити її показники якості. При цьому досить складною є проблема вибору адекватної ТЗЯ, що має бути зроблено як з урахуванням специфічних характеристик певного типу ПС, які досліджуються, а також беручи до уваги наявні ресурсні та інші обмеження. Таким чином, постає проблема побудови комплексних підходів до визначення ефективності застосування різних ТЗЯ в процесах проектування та супроводу відповідних ПС, один з яких представлено в роботі [5] і який пропонує концепцію багатовимірної інформаційного простору для структурування та аналізу взаємозв'язків різних показників ефективності ТЗЯ. У продовження цих досліджень, метою даної статті є розробка моделей, процедур та відповідних програмних засобів, які дозволяють отримувати конкретні оцінки певних показників ефективності ТЗЯ та робити висновки щодо доцільності їх застосування при дослідженні ПС РЧ.

## 2. Критичний огляд деяких існуючих методів оцінки ефективності ТЗЯ і мотивація запропонованого підходу

Хоча в цілому в сучасній програмній інженерії саме проблемам забезпечення якості ПС (software quality assurance – SQA) приділяється досить багато уваги [1, 2, 6], слід відзначити, що питання розробки засобів для оцінки ефективності застосування тих чи інших ТЗЯ досить залишаються практично нерозв'язаними. У нечисленних вітчизняних [7, 8], а також і в деяких закордонних публікаціях з цих проблем [2, 9 – 11] здебільше або аналізуються моделі та методи, які вирішують лише окремі SQA-задачі (наприклад, пошук та усунення програмних помилок – debugging), або порівнюються конкретні інструментальні програмні засоби, які застосовуються при цьому. В той же час навіть у тих роботах, де робиться спроба комплексно підійти до вирішення цієї проблеми (наприклад, в [9, 11]), відповідні моделі та процедури подаються, як правило, у неформалізованому, вербальному опису, а оцінки, що визначаються за їх допомогою, є якісними та досить приблизними.

Саме тому в роботі [5] було запропоновано структурувати чинники впливу та показники ефективності застосування окремих ТЗЯ у вигляді багатовимірної інформаційного простору  $\Pi$ , який формалізовано подається як сукупність 2 підпросторів, а саме

$$\Pi = (\Omega, \Psi), \quad (1)$$

де  $\Omega$  – це підпростір, в якому вся множина типів

ПС, які досліджуються за допомогою певних ТЗЯ, є структурованою в системі 2 координатних вимірів, а саме “Рівень вимог щодо якості ПС” і “Функціональна складність ПС”. Підпростір  $\Psi$  є, в свою чергу, 3-х вимірною системою координат: “Типи ПС”, “Методи ТЗЯ” та “Ефективність застосування”, яка має вигляд, що подано на рис. 2.

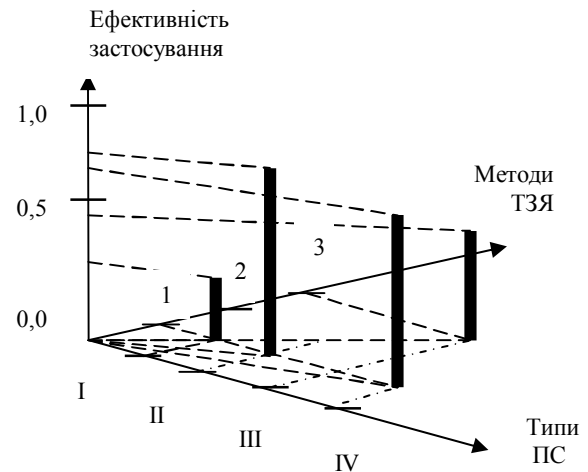


Рис. 2. Трьохвимірний простір для визначення комплексної оцінки ТЗЯ

Для подальшого розвитку цього підходу є необхідним запропонувати конкретні моделі та процедури, які б дозволили отримати адекватні оцінки для всіх показників, які є необхідними для визначення положення певної ПС у підпросторах з виразу (1). Зважаючи на значну структурну складність та слабку формалізованість відповідних чинників, а також беручи до уваги думку таких відомих фахівців з програмної інженерії, як, наприклад, проф. К.М. Лаврішчева [6], є цілком виправданим запропонувати використання саме методів експертної оцінки для вирішення цієї задачі.

Експертні оцінки доцільно використовувати, коли об'єктивної інформації недостатньо для визначення чисельних чи якісних значень питомих характеристик. Такі оцінки ґрунтуються на накопиченому досвіді, знаннях, ідеях, думках та здогадках спеціалістів. Сутність методу експертних оцінок полягає в опитуванні й обробці думок групи експертів-фахівців по розв'язуваній проблемі. Отримана в результаті обробки узагальнена думка експертів є рішенням проблеми. Методи експертних оцінок раціонально поєднують процес інтуїтивного-логічного аналізу проблеми експертами з кількісними і якісними методами обробки [12]. Також результати опитування груп експертів можуть істотно відрізнятися від рішень, отриманих у результаті неформальних дискусій, де може взяти гору думка лише деяких авторитетних учасників. Відповідним чином оброблена інформація, отримана від групи експер-

тів, як правило, виявляється більше достовірною й надійною. Надійність оцінок досить висока і у значній мірі залежить від організації й спрямованості процедури збору, аналізу й обробки отриманих думок.

Існує досить багато різних видів експертного опитування, які можна класифікувати за такими признаками, як: форма участі експертів (очне, заочне), кількість ітерацій (однокрокові, ітераційні), тип завдання та відповідей (генерування ідей, ранжування, оцінювання об'єкту по відносній або абсолютній шкалі), спосіб обробки думок експертів: (безпосередні, аналітичні), кількість експертів (без обмеження, обмежені), наявність зворотного зв'язку (зі зворотним зв'язком та без зворотного зв'язку). Найбільш відомими методами експертних оцінок є інтерв'ювання, анкетування, метод Дельфи, мозковий штурм, метод аналізу ієрархій [12, 13]. Оскільки у даному підході до оцінки ТЗЯ необхідно, щоб обмежена група експертів мала змогу оцінити об'єкт на основі заздалегідь визначених питань та відповідей, без необхідності зворотного зв'язку, то за основу технології експертної оцінки пропонується використати метод анкетування.

### 3. Розробка моделі та процедури експертної оцінки ефективності ТЗЯ

#### 3.1. Загальна схема процедури експертизи

Формально процедура експертної оцінки може бути поділена на три основних етапи [13]: підготовка, проведення, обробка результатів. Етап підготовки експертизи складається з наступних кроків: визначення завдання експертизи, складання анкет для опитування, визначення шкали оцінок, визначення состава групи експертів, визначення порядку проведення експертизи, компетентності експертів, точності оцінок і методу обробки результатів. Етап проведення експертизи передбачає одержання від експертів відповідей на поставлені в анкетах питання. Етап обробки результатів опитування окрім безпосередньо розрахунку результатів включає визначення компетентності експертів і наступне зважування індивідуальних оцінок.

При виборі состава експертної групи до експертів висуваються наступні вимоги: компетентність, креативність, конформізм, конструктивність мислення, колективізм, самокритичність, позитивне відношення до експертизи. Сформована група повинна бути досить компетентною, щоб дати оцінки з максимальним ступенем імовірності. Для кількісної оцінки рівня компетентності експерта необхідно використовувати коефіцієнт компетентності, що визначається за апріорним даними (аналіз фактич-

них даних про експерта, його самооцінка, взаємна оцінка інших експертів) і апостеріорними даними (на основі результатів експертизи оцінюється погодженість думок експертів, меншому відхиленню від середнього відповідає більша компетентність).

#### 3.2. Оцінка адекватності застосування ТЗЯ

У ході опитування експерти дають відповіді на питання, що стосуються адекватності застосування й питомих трудовитрат на використання ТЗЯ. Розглянемо оцінку адекватності застосування ТЗЯ.

Адекватність застосування ТЗЯ повинна відображати ступінь, у якій вихідні результати ТЗЯ, а саме розрахункові характеристики атрибутів якості, будуть близькі до аналогічних характеристик готової системи після її реалізації. На значення оцінки адекватності буде впливати тип оцінюваної ПС, ключовими параметрами якого є строгість вимог якості та складність ПС. Для формалізації рівнів цих параметрів введемо три можливих рівня значень: низький, середній, високий. Тоді тип ПС буде визначатися парою параметрів, кожний з яких має три можливих рівні значень, що в підсумку дає 9 різних типів ПС. Графічна інтерпретація процедури виділення типів ПС, тобто підпростір  $\Psi$  з виразу (1), показана на рис. 3.

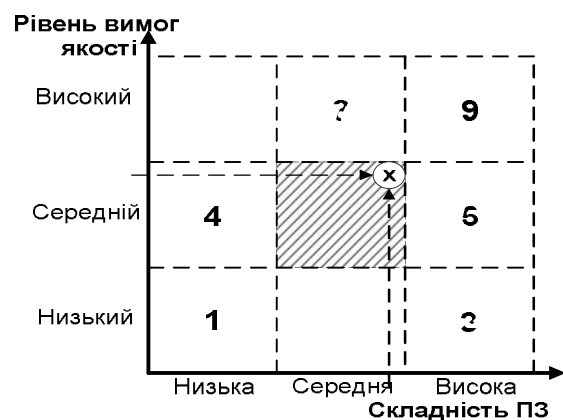


Рис. 3. Графічна інтерпретація типів ПС

Кожен експерт визначає рівень вимог якості, складність наявної ПС, а потім дає оцінку адекватності застосування тієї або іншої ТЗЯ для даного типу ПС.

Для формалізації значень оцінки адекватності введемо лінгвістичну змінну з наступною структурою  $L = \{X, T(X), U, G, M\}$ , де  $X$ : «адекватність використання»;  $U$ :  $[0; 1]$ ;  $G$ : пуста множина;  $T(X): \{\bar{E} < \bar{P} < N < P < E\}$ , де  $\bar{E}$  – «використання взагалі неадекватно»;  $\bar{P}$  – «скоріше неадекватно»;  $N$  – «можливо адекватно»;  $P$  – «скоріше адекватно»;  $E$  – «використання взагалі адекватно». Кожному із зна-

чень лінгвістичної змінної згідно з семантичним правилом М відповідає діапазон значень відповідної функції приналежності. Функції приналежності, у свою чергу, в силу ряду необхідних математичних властивостей задаються на основі функції приналежності Харингтона [14].

Для кожного з дев'яти типів ПС експерт дає оцінку відповідно до наведеної вище шкали для кожної досліджуваної ТЗЯ. Наприклад, якщо проводити опитування для трьох різних типів ТЗЯ, то кожний експерт дасть 27 оцінок, по 3 для кожного з дев'яти типів ПС.

Потім оцінки розраховуються за наступними рекурентними формулами:

$$x_i^t = \sum_{j=1}^m x_{ij} k_j^{t-1}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (2)$$

$$\lambda^t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} x_i^t, \quad t = 1, 2, \dots, \quad (3)$$

$$k_j^t = \frac{1}{\lambda^t} \sum_{i=1}^n x_{ij} x_i^t, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (4)$$

де  $m$  – число експертів;

$n$  – число оцінок;

$x_{ij}$  –  $i$ -а оцінка  $j$ -го експерта;

$k$  – коефіцієнти компетенції, початкові значення яких приймаються  $k_j^0 = \frac{1}{m}$ .

У матричному вигляді:

$$\bar{x}^t = \frac{1}{\lambda^{t-1}} B \bar{x}^{t-1}, \quad \bar{k}^t = \frac{1}{\lambda^t} C \bar{k}^{t-1}, \quad (5)$$

де  $B = X X^T$ ,  $C = X^T X$ ,  $X = \|x_{ij}\|$ .

Для автоматизації процесу анкетування і розрахунку узагальнених оцінок з урахуванням компетентності експертів був розроблений спеціалізований Web-додаток. Адміністратор додатка, фрагмент інтерфейсу якого наведено на рис. 4, задає список респондентів, вид анкет, питання й можливі відповіді.

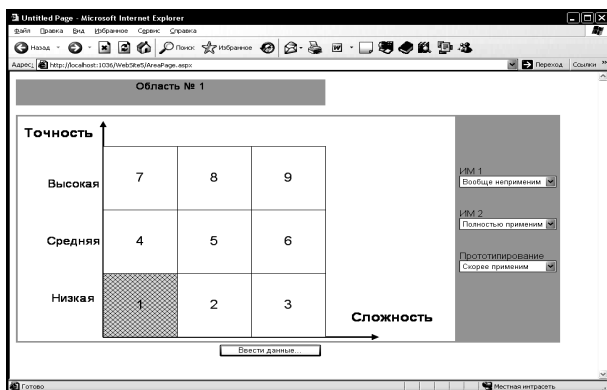


Рис. 4. Інструментарій автоматизованого оцінювання адекватності використання ТЗЯ

Кожний експерт проходить авторизацію, після чого одержує доступ до анкет і відповідає на питання. Коли всі експерти із заданого списку пройшли опитування, проводиться розрахунок узагальнених оцінок.

### 3.3. Оцінка питомих трудовитрат на застосування ТЗЯ

Паралельно з оцінкою адекватності експерт оцінює питомі трудовитрати, необхідні для застосування тієї або іншої ТЗЯ для даного типу ПС. Питомі трудовитрати на застосування ТЗЯ виражаються кількістю годин у розрахунку на одного дослідника, необхідних для виконання повного циклу робіт ТЗЯ.

Експерти дають кількісну оцінку, що показує скільки годин необхідно одному експертові для виконання робіт за заданою ТЗЯ за умов того, що ПС відноситься до певного типу. Оскільки процес застосування ТЗЯ складається з декількох етапів, то експертам також пропонується давати не сумарну оцінку, а оцінку по етапах робіт, а саме: створення моделі компонентної ПС ( $T_M$ ), проведення експерименту ( $T_E$ ), аналіз результатів ( $T_A$ ). Підсумкова оцінка є сумою оцінок по кожному з етапів.

Щоб максимально врахувати імовірнісні фактори, які присутні при виконанні робіт, експертам пропонується давати оцінку трудовитрат на кожному етапі за технологією PERT [15] у вигляді трьох складових: песимістична оцінка ( $t_{\max}$ ), імовірна оцінка ( $t_{\exp}$ ), оптимістична оцінка ( $t_{\min}$ ). Підсумкова очікувана оцінка трудовитрат на певний етап робіт обчислюється як зважена середня на основі песимістичної, імовірної й оптимістичної оцінок:

$$t = \frac{t_{\min} + 4t_{\exp} + t_{\max}}{6}. \quad (6)$$

Дисперсія оцінки:

$$\sigma^2 = \left( \frac{t_{\max} - t_{\min}}{2} \right)^2. \quad (7)$$

Нижче на рис. 5 показано приклад анкети, де експерт має змогу оцінити застосування трьох різних ТЗЯ (ІМ1, ІМ2, ІР) для певного типу ПС:

Після аналізу результатів маємо узагальнені оцінки трудовитрат на застосування ТЗЯ для кожного з оцінюваних типів ПС.

Узагальнені оцінки формуються як для кожного з етапів робіт окремо, так і загалом для всіх етапів робіт, що дає змогу проаналізувати та порівняти ТЗЯ як загалом, так і окремо для етапів створення моделі, проведення експерименту та аналізу результатів. Вихідні дані для аналізу формуються у виді таблиць та відповідних графіків.

		Оцінка трудовитрат			
		Песимістична	Вірогідна	Оптимістична	Очікувана
IM1	Створення моделі	1,5	1,25	1	1,25
	Проведення експерименту	1	0,75	0,5	0,75
	Аналіз результатів	3	2	1,5	2,08
	Загалом	5,5	4	3	4,08
IM2	Створення моделі	1	0,75	0,6	0,77
	Проведення експерименту	3	2,5	2	2,50
	Аналіз результатів	1,5	1,25	1	1,25
	Загалом	5,5	4,5	3,6	4,52
ПР	Створення моделі	1,5	1,25	1	1,25
	Проведення експерименту	3,5	3,25	3	3,25
	Аналіз результатів	1	0,75	0,6	0,77
	Загалом	6	5,25	4,6	5,27

Рис. 5. Анкета для оцінювання трудовитрат на застосування ТЗЯ

На рис. 6 показано графік загальної оцінки трудовитрат у залежності від типу досліджуваної ПС для трьох різних ТЗЯ.

У даному випадку розглядаються: імітаційне моделювання за допомогою Matlab/Simulink (IM1), імітаційне моделювання за допомогою власного проблемно-орієнтованого імітаційного комплексу (IM2), забезпечення якості на основі інтегрованої технології еволюційного прототипування (ПР).

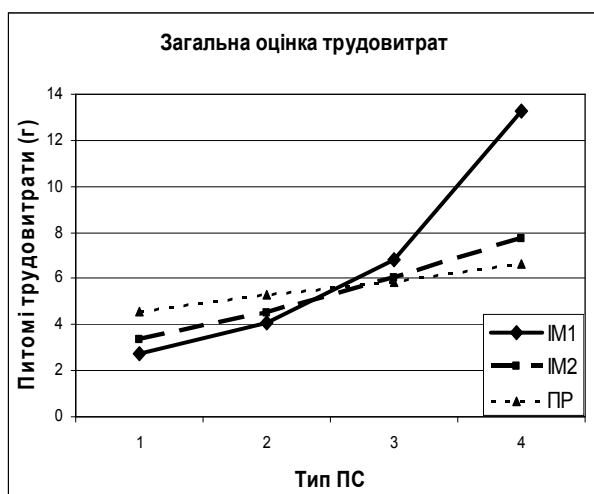


Рис. 6. Графік загальної оцінки трудовитрат на застосування ТЗЯ

## Результати та висновки

У роботі було розглянуто моделі та засоби експертної оцінки ефективності ТЗЯ для ПС РВ, а саме для оцінки адекватності та трудовитрат використання ТЗЯ для певних типів ПС. Кожна з цих оцінок є важливим показником ефективності і може бути використана окремо для аналізу ефективності застосування ТЗЯ. У такому випадку інтерпретація кожного окремого показника, їх взаємозв'язок та взаємовплив можуть відрізнятися у різних дослідженнях.

Це є недоліком окремого розглядання показників якості тому, що у цьому разі не можна з достатньою точністю проводити аналіз та порівняння результатів різних досліджень. Як подальший розвиток розглянутого підходу необхідно розробити єдиний, уніфікований критерій якості застосування ТЗЯ, який би включав у себе показники адекватності та трудовитрат з можливістю їх зважування та вимірювся по єдиній шкалі для аналізу та порівняння результатів досліджень.

## Література

1. *Основи інженерії якості програмних систем* / Ф.И. Андон, Г.И. Коваль, Т.М. Коротун и др. – 2-е изд. – К.: Акадампериодика, 2007. – 670 с.
2. *Соммервил И. Инженерия программного обеспечения: пер. с англ. / И. Соммервил; 6-е изд. – М.: Изд-во «Вильямс», 2002. – 624 с.*
3. *Офіційний Інтернет-ресурс SWEBOK [Електронний ресурс]: – Режим доступу до ресурсу: <http://www.swebok.org>.*
4. *OPC Foundation OLE for Process Control. Data Access Standard. – Version 1.0A – 1997. – 116 p.*
5. *Ткачук М.В. Про один підхід до оцінки ефективності технологій забезпечення якості програмних систем / М.В. Ткачук, А.О. Земляний // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2009. – № 1/2 (37). – С. 33-38.*
6. *Лавріщева К.М. Перспективи дисципліни програмної інженерії / К.М. Лавріщева // Вісн. НАН України. – 2008. – №9. – С. 33-41.*
7. *Райчев І.Е. Проблеми оцінювання якості критичних програмних систем при їх сертифікації / І.Е. Райчев, О.Г. Харченко // Проблеми програмування. – 2004. – № 2. – С. 198-207.*
8. *Райчев І.Е. Концепція побудови сертифікаційної моделі якості програмних систем / І.Е. Райчев, О.Г. Харченко // Проблеми програмування. – 2006. – №№ 2-3. – С. 97-106.*
9. *Thoma H. Software Quality – Experience in System Development and Operation / H. Thoma // UNISCON 2008, LNBIP 5: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2008. – P. 332-339.*

10. Баутов А. Оценка факторов, влияющих на качество программных продуктов / А. Баутов // Директор ИС (Открытые системы). – 2001. – № 11-12. – С. 16-21.

11. Липаев В.В. Методы обеспечения качества крупномасштабных программных средств / В.В. Липаев. – М.: СИНТЕГ, 2003. – 520 с.

12. Литвак Б.Г. Экспертная информация: методы получения и анализа / Б.Г. Литвак. – М.: Радио и связь, 1982. – 184 с.

13. Павлов А.Н. Методы обработки экспертной информации: учебно-метод. пособие / А.Н. Павлов, Б.В. Соколов. – СПб.: ГУАП, 2005. – 42 с.

14. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грабовский. – М.: Наука, 1976. – 281 с.

15. Project Management Institute. A Guide To The Project Management Body Of Knowledge. – Project Management Institute, 2004. – 380 p.

Надійшла до редакції 9.02.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри інформаційних управляючих систем В.М. Левикін, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна.

### МОДЕЛИ И СРЕДСТВА ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

*А.А. Земляной, Н.В. Ткачук*

Рассматривается пример программной системы (ПС) реального времени (РВ) с жесткими требованиями к качеству, а именно к производительности и надежности. Показана актуальность проблемы оценки эффективности технологий обеспечения качества (ТОК) ПС РВ. Рассматриваются некоторые существующие методы оценки ТОК и предлагается модель многомерного информационного пространства для комплексной оценки ТОК. Разрабатываются модели и процедуры экспертной оценки ТОК: общая схема экспертной процедуры, модели и инструменты оценки адекватности, а также модель оценки удельных трудозатрат на применение ТОК.

**Ключевые слова:** компонентные программные системы реального времени, технологии обеспечения качества программных систем, экспертные методы оценки эффективности.

### MODELS AND TOOLS FOR EXPERT ESTIMATION OF QUALITY ASSURANCE METHODS EFFICIENCY OF REAL TIME SOFTWARE SYSTEMS

*A.O. Zemlyaniy, M.V. Tkachuk*

An example of a real time software system with strict quality requirements to productivity and reliability is considered. A problem of quality assurance methods estimation is analyzed and the necessity of models and tools for efficiency estimation is motivated. Some of existing software quality assurance methods are considered and a multi-dimensional information space for complex efficiency estimation is provided. Models and procedures for expert's efficiency estimation of quality assurance methods, including the general scheme of the expert procedure, models and tool for adequacy estimation, and man-hour costs model are elaborated.

**Key words:** real-time component-based software systems, software quality assurance methods, expert methods for efficiency estimation.

**Земляний Андрій Олександрович** – асистент кафедри автоматизованих систем управління, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», e-mail: andrey\_zemlyanoy@mail.ru.

**Ткачук Микола В'ячеславович** – д-р техн. наук, проф., проф. кафедри автоматизованих систем управління, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», e-mail: tka@kpi.kharkov.ua.