

# ПРО ОДИН ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

*Розглянуто проблему розробки комплексного підходу до оцінки ефективності застосування різних технологій забезпечення якості програмних систем. Доведено, що для оцінки ефективності тієї чи іншої технології необхідно одночасно враховувати декілька показників, які не є чітко формалізованими. Для вирішення поставленої задачі пропонується структурувати їх взаємозв'язки в багатовимірному інформаційному просторі та застосовувати знання-орієнтовані, експертні методи обробки відповідної інформації*

**М. В. Ткачук**

Доктор технічних наук, професор  
Контактний тел.: (38-057) 707-60-86  
e-mail: tka@kpi.kharkov.ua

**А. О. Земляний**

Асистент  
Кафедра автоматизованих систем управління НТУ «ХПИ»  
вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002  
Контактний тел.: (38-057) – 707-60-86  
e-mail: andrey\_zemlyanoy@mail.ru

## 1. Актуальність проблеми та постановка задачі дослідження

На теперішньому етапі розвитку теоретичної бази та інструментальних засобів програмної інженерії вже можна вважати досить повною мірою вирішеними такі задачі розробки програмних систем (ПС) як накопичення та аналіз функціональних вимог, моделювання структурних та динамічних аспектів архітектури ПС, а потім – і автоматизоване генерування тексту її основних програмних компонентів. Наочним прикладом такого модельно-інструментального комплексу є уніфікована мова моделювання UML і відповідне візуальне середовище її застосування Rational Rose (див., напр., в [1]). В той же час забезпечення якісних показників кінцевого програмного продукту є суттєво більш складною проблемою, як з точки зору визначення самих атрибутів якості та адекватних метрик для їх оцінки, так і з точки зору розробки відповідних програмних засобів для автоматизації застосування таких підходів. Останнім часом саме ця проблематика визначається та обговорюється як задача створення та застосування різноманітних технологій забезпечення якості (ТЗЯ) програмного забезпечення (software quality assurance) [2-3]. До них належать різноманітні

методи та технології (CASE-засоби) моделювання ПС (аналітичні, імітаційні, метричні моделі тощо), а також деякі підходи, які передбачають побудову програмних прототипів з метою отримати можливість попередньої оцінки певних характеристик якості функціонування ПС. Згідно сучасного стандарту, який розроблено міжнародним консорціумом з проблем програмної інженерії SWEBOOK (Software Engineering Body of Knowledge), до таких характеристик належать [3]: продуктивність (performance), надійність (reliability), функціональність (functionality), супроводжуваність (maintenability), переносимість (portability), зручність використання (usability). Наприклад, такі з них, як продуктивність та надійність, є особливо важливим для ПС, які працюють у складі АСУ ТП на підприємствах нафто-газовидобування [4], тому що вони повинні в реальному масштабі часу вести накопичення та аналіз значних обсягів даних, а будь які аварійні ситуації на цих об'єктах можуть спричинити значні економічні збитки та екологічні проблеми.

В той же час, саме збільшення кількості різних ТЗЯ, а також постійне розширення типів ПС (за ознакою належності до різних предметних областей) та зростання рівня їх складності, зумовлюють актуальність і необхідність вирішення наступної проблеми:

яку саме ТЗЯ при розробці певного типу ПС доцільно застосувати, щоб забезпечити потрібний рівень вимог якості та мати при цьому прийнятний обсяг витрат на реалізацію самої ТЗЯ?

Таким чином, метою досліджень в цій статті є розробка комплексного підходу до визначення ефективності різних ТЗЯ при їх застосуванні в процесах проектування та реінжинірингу відповідних ПС.

---

## 2. Аналіз деяких існуючих технологій забезпечення якості програмних систем

---

Для дослідження якості ПС використовуються різні типи аналітичних моделей (АМ). Вони застосовуються для кількісної оцінки тих чи інших атрибутів характеристик якості компонентів ПС [5]. Найбільш поширені підходи до розрахунку показників якості на основі моделей мереж масового обслуговування та різноманітних моделей черг, моделей з використанням кінцевих автоматів, мереж Петрі. Наприклад, в роботі [6] використовуються моделі черг для аналізу показників якості ПС з використанням специфікацій на RT-UML та OCL. У роботі [7] на основі специфікацій у нотаціях RT-UML та OCL будуються моделі системи у вигляді маркованих мереж Петрі. Це дозволяє відобразити та дослідити особливості взаємодії компонентів з точки зору якості функціонування ПС. Існують різні модифікації класичних моделей черг, які враховують особливості програмних систем реального часу та апаратного забезпечення [8]. АМ дозволяють відносно просто дослідити показники якості ПС, але їх складність дуже швидко зростає зі зростанням розмірності системи, що досліджується. Крім того, у більшості випадків АМ не можуть достатньо повно відобразити функціональність реальної ПС і модель має ряд спрощень, що негативно впливає на адекватність кінцевих результатів.

Досить цікавим і ефективним засобом моделювання ПС є підхід, який представлено в [9] і який має на меті отримати певні метричні оцінки (МО) продуктивності системи ще на етапі її архітектурного проектування. Для цього пропонується заздалегідь визначати критичні варіанти (сценарії) використання ПС, а потім будувати для них спрощені структурні моделі функціонування програмного забезпечення у вигляді графів виконання, які репрезентують окремі блоки та підсистеми ПС. Для кожного з таких графів обчислюються кількісні (ресурсні) МО щодо виконання його вузлів, що зрештою дає можливість отримати узагальнені оцінки продуктивності всієї ПС в цілому, а також визначити найбільш реактивні блоки, які потребують доробки або повної заміни при проектуванні кінцевої версії системи. Але, подібно до АМ, цей підхід має ті ж самі недоліки: по-перше, він забезпечує лише досить приблизні оцінки продуктивності ПС, а по-друге, також не дозволяє отримати працездатні програмні рішення, які б могли бути використані як готові компоненти системи, що розробляється.

За умов, коли використання АМ та МО не виправдано, можуть бути застосовані імітаційні моделі (ІМ). Це дозволяє дослідити системи більшої складності та, як правило, з більшою адекватністю. У роботах [10, 11] продемонстровано, як на основі формальних

специфікацій вимог якості можна побудувати ІМ розподіленої ПС, дослідити особливості динамічної взаємодії її компонентів, розрахувати питомі показники якості. Існує декілька шляхів використання ІМ для дослідження показників якості, серед них як застосування існуючих універсальних середовищ ІМ, таких як GPSS, Arena, Matlab/Simulink, так і застосування проблемно-орієнтованих середовищ ІМ [12]. ІМ дозволяють отримати достатньо адекватні оцінки показників якості ПС без необхідності повної або часткової реалізації її компонентів. У випадку універсальних середовищ ІМ можливо використовувати усі їх потужні засоби моделювання. Однак, процес побудови і модифікації моделей, збиру та аналізу даних у разі дослідження специфічних програмних рішень може бути достатньо витратним. У цьому разі доцільно використовувати проблемно-орієнтовані середовища. Недоліком проблемно-орієнтованих середовищ є великі початкові затрати на їх реалізацію. За допомогою ІМ можливо отримати досить адекватні результати, але зі зростанням складності досліджуваних ПС і зростанням рівня вимог щодо точності результатів витрати на розробку ІМ наближаються до витрат на реалізацію самої ПС, що не є ефективним. У цьому разі доцільно використовувати таку технологію, яка б одночасно давала оцінки показників якості та працездатні елементи ПС. Одним з варіантів такого підходу є технологія прототипування цільової ПС [2,13].

Існують різні моделі прототипування та відповідні інструментальні середовища, наприклад такі як Computer-Aided Prototyping System (CAPS), Ripple, Axure RP Pro, iRise Studio та ін. Але слід зазначити, що більшість з них зосереджена на моделюванні функціональних вимог або інтерфейсів користувача ПС. Авторами даної статті була запропонована Інтегрована Технологія Еволюційного Прототипування (ІТЕП), яка дозволяє дослідити показники якості ПС використовуючи її готові компоненти [13]. Нефункціональні вимоги (або показники якості ПС) відображаються у цільові властивості або обмеження, з використанням існуючих архітектурних шаблонів будується прототип ПС, він отримує конфігурацію конкретних параметрів та досліджуються його показники якості. В кінцевому рахунку, за умов виконання заданого рівня вимог щодо показників якості, побудований таким чином прототип може бути використано як основу для реалізації реальної ПС.

Навіть цей стислий огляд існуючих ТЗЯ та аналіз деяких особливостей їх застосування показує, що для оцінки ефективності тієї чи іншої ТЗЯ необхідно одночасно враховувати декілька чинників (або критеріїв), які не є чітко формалізованими.

Саме тому для їх визначення потрібно структурувати їх взаємозв'язки в певному багатовимірному інформаційному просторі та застосовувати знання-орієнтовані, експертні методи обробки відповідної інформації.

---

## 3. Багатовимірна модель оцінки ефективності застосування ТЗЯ

---

В роботі [14] була запропонована та досліджена концепція багатовимірного інформаційного метапро-

стору проектування та реінжинірингу ПС, яка, зокрема, передбачає побудову та використання декількох взаємопов'язаних локальних підпросторів, в яких проводиться накопичення та аналіз даних щодо системних вимог, методів та моделей проектування ПС.

Згідно цього підходу, насамперед потрібно визначити ті показники (або критерії), які будуть використані в якості відповідних координат (або вимірів) у багатовимірній моделі оцінки ефективності ТЗЯ. Зважаючи на попередні зауваження щодо загальної проблематики застосування цих технологій, які були зроблені в першому розділі цієї статті, а також враховуючи певний власний досвід, накопичений при розробці та моделюванні складних ПС [4,12-14], до таких показників доцільно віднести наступні:

- (1) показники функціональної складності ПС, яка досліджується за допомогою тієї чи іншої ТЗЯ;
- (2) рівень вимог якості, що має бути забезпечений в ПС (наприклад, щодо продуктивності та надійності);
- (3) доступні методи ТЗЯ, які мають бути проаналізовані щодо їх ефективності;
- (4) оцінки адекватності застосування певної ТЗЯ щодо того чи іншого типу ПС;
- (5) показники питомої трудомісткості застосування різних ТЗЯ.

Таким чином, задача розробки багатовимірної моделі оцінки ефективності ТЗЯ зводиться до представлення показників (1)-(5) у певному структурованому вигляді, який забезпечив би можливість якісного аналізу їх взаємозв'язків, а потім – у розробці відповідних експертних процедур для отримання кількісних оцінок ефективності застосування тієї чи іншої ТЗЯ.

### 3.1 Структурування типів ПС

На першому етапі розробки багатовимірної моделі оцінки ефективності ТЗЯ є доцільним ввести структурування типів ПС з урахуванням показників (1)-(2) з вищезазначеного переліку, а саме: «Рівень вимог щодо якості ПС» і «Складність ПС». Це підхід ілюструє система координат яка наведена на рис. 1. По осі ординат при цьому розглядається визначений експертним шляхом рівень вимог щодо якості ПС, а по осі абсцис - показник складності ПС, обидва ці параметри подаються в нормованому вигляді, тобто вони належать до інтервалу  $[0 \leq 1]$ .

Тоді всю координатну площину можна розбити на 4 квадранти, які окреслені наступними парами значень відповідних лінгвістичних змінних:

I квадрант - «Складність ПС незначна» і «Рівень вимог якості низький»;

II квадрант - «Складність ПС значна» і «Рівень вимог якості низький»;

III квадрант - «Складність ПС незначна» і «Рівень вимог якості високий»;

IV квадрант - «Складність ПС значна» і «Рівень вимог якості високий».

Таким чином, за допомогою запропонованої системи координат кожен з ПС, які мають бути досліджені з використанням певної ТЗЯ, можливо віднести до відповідної групи, в межах якої порівняння показників (3)-(5) буде коректним.

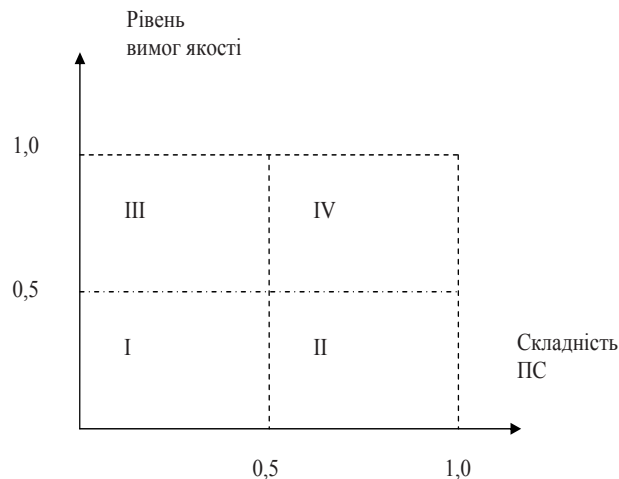


Рисунок 1. - Система координат для експертної оцінки типів ПС

При цьому для оцінки складності ПС можливо використати, наприклад, одну з модифікацій так званого FPA (Function Points Analysis)- метода [2], а для визначення необхідного рівня вимог щодо якості ПС - розробити процедуру за одним з методів експертного оцінювання [15].

### 3.2 Вибір методів ТЗЯ та задачі визначення оцінки їх адекватності і питомої трудомісткості

Наступним важливим етапом розробки багатовимірної моделі ефективності ТЗЯ є коректне вирішення задачі експертної оцінки адекватності обраної ТЗЯ при її застосуванні до певного типу ПС. Для розв'язання цієї проблеми, без втрати загального характеру отриманих в подальшому рішень, в якості обраних ТЗЯ будемо розглядати наступні: (1) імітаційне моделювання характеристик ПС з використанням універсальних програмних засобів, таких, як, наприклад, середовище Simulink з пакету Matlab [16]; (2) імітаційне моделювання за допомогою спеціально розробленого проблемно-орієнтованого програмного засобу [11]; (3) оцінка характеристик якості ПС шляхом побудови її відповідних прототипів за методикою, яка представлена в [12].

Для вирішення цієї задачі може бути запропоновано нечітку експертну модель оцінки адекватності ТЗЯ щодо певних типів ПС. Структура лінгвістичної оцінки буде мати вигляд:  $L = \{ E' < P' < N < P < E \}$ , де  $E'$  означає, що використання певної ТЗЯ взагалі неадекватно для даного типу ПС,  $P'$  – використання скоріше неадекватно,  $N$  – нейтральна оцінка,  $P$  – використання скоріше можливе,  $E$  – використання напевне можливе.

Для такої структури лінгвістичної оцінки пропонується побудувати функцію приналежності Харінгтона [15].

Вона визначається наступною формулою  $d = e^{-e^{-R}}$ , де  $d$  - значення шкали переваг,  $R$  - значення лінгвістичної шкали  $L$ . Для заданої лінгвістичної шкали  $L$  функція Харінгтона буде мати вигляд, який наведено на рис. 2.

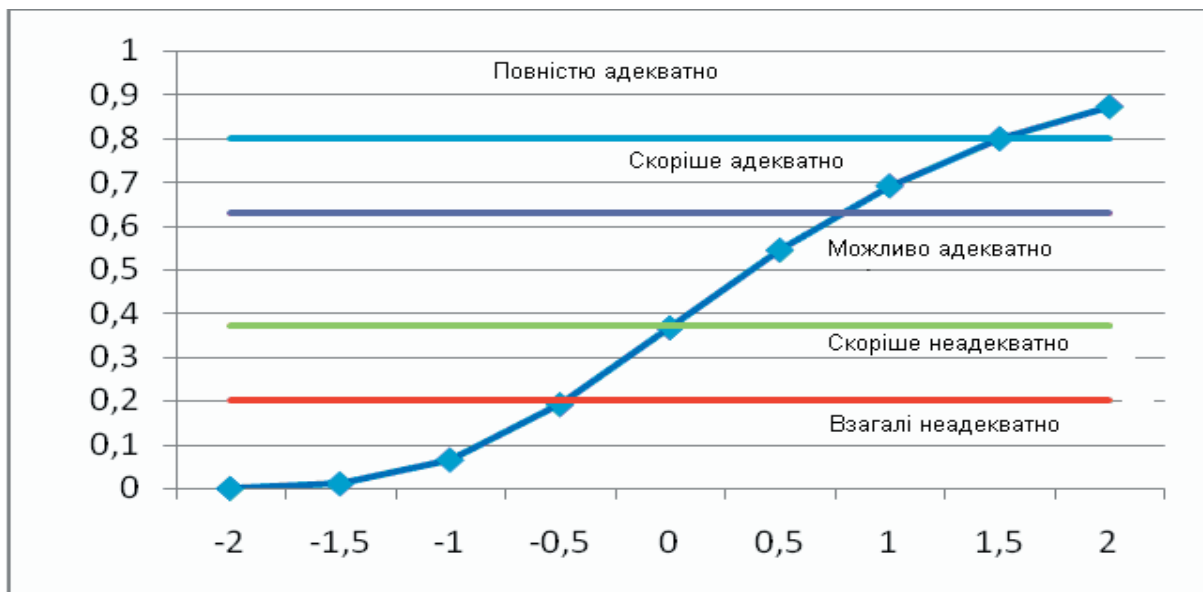


Рисунок 2. Функція приналежності для експертної оцінки адекватності

Точками перегину є наступні:

$$d(0) = 1/e \approx 0,37$$

$$\text{та } d(0,78) \approx 1 - 1/e \approx 0,63.$$

Функція Харінгтона була вибрана тому, що вона задовольняє вимогам до функції приналежності у даному випадку, а саме, вона безперервна, гладка та монотонна на всій області визначення, її чутливість в крайніх зонах менше, ніж в середніх, володіє такими властивостями як адекватність, статистична чутливість та ефективність [15].

Процедура опитування експертів включає в себе наступні етапи: формування списку експертів, апріорна оцінка компетентності (формування бальної оцінки компетентності на основі даних про експерта, оцінка кожним експертом компетентності інших експертів групи), анкетування, перевірка узгодженості думок експертів, апостеріорна оцінка компетентності, вирішальна оцінка компетентності, розрахунок узагальнених оцінок.

Результатом експертного опитування є оцінки адекватності застосування окремих ТЗЯ до того чи іншого типу ПС, які потім можуть бути використані для визначення комплексної ефективності застосування ТЗЯ.

Аналогічна експертна процедура застосовується для оцінювання питомих трудовитрат, необхідних для застосування даних ТЗЯ для того чи іншого типу ПС. У цьому випадку застосовується не лінгвістична, а чисельна оцінка, що відображає кількість годин, потрібних окремому експерту, щоб дослідити показники якості певного типу ПС використовуючи відповідну ТЗЯ. Для підвищення точності сумарної оцінки експерти визначають трудовитрати окремо для етапів створення моделі, проведення експерименту та аналізу результатів.

Для зменшення можливого впливу випадкових факторів експертна оцінка кожного з етапів робіт включає песимістичну, імовірну та оптимістичну складові, з яких вираховується сумарна оцінка очікуваних питомих трудовитрат.

### 3.3 Визначення комплексної ефективності застосування ТЗЯ

Враховуючи положення, які розроблені в п.п. 3.1-3.2, остаточний механізм для визначення оцінки ефективності застосування тієї чи іншої ТЗЯ з урахуванням різних типів відповідних ПС можливо розглядати як 3-х вимірний інформаційний простір, який наведено на рис. 3.

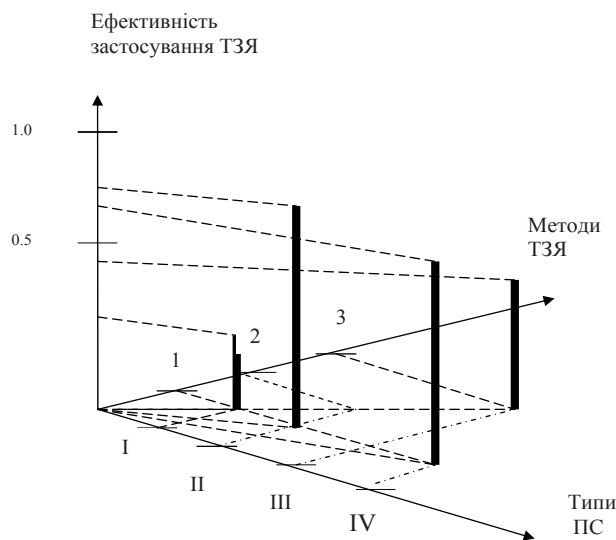


Рисунок 3. 3-х вимірний простір для визначення комплексної оцінки ТЗЯ

Його структура побудована наступним чином: по осі абсцис розташовані визначені в п. 3.1 окремі типи ПС, які відповідають їх позиціонуванню в системі квадрантів I – IV (див. рис. 1), а по осі ординат позначені різні методи ТЗЯ, які згідно зроблених в п. 3.2 припущень, можуть бути застосовані для їх дослідження

щодо забезпечення 2-х показників якості: продуктивності та надійності. Тоді комплексна оцінка ефективності застосування певної ТЗЯ відносно того чи іншого типу ПС, яка враховує як її міру адекватності так і питому трудомісткість застосування, позначається як нормована величина, яка відкладається по осі аплікату цієї системи координат (див. рис. 3).

Слід зазначити, що структуроване таким чином графічне подання взаємозалежності цих показників (з урахуванням системи квадрантів, яка наведена на рис.1) дозволяє не тільки наочно представити результати застосування експертних процедур, які визначені в п.п. 3.1-3.2 цього розділу, але й може бути використано як прототип візуального інтерфейсу перспективного програмного CASE-засобу для автоматизації запропонованого підходу.

#### 4. Висновки та деякі напрямки подальших досліджень

В даній науковій статті:

1) показана актуальність проведення досліджень щодо оцінки ефективності застосування різних технологій забезпечення якості ПС;

2) запропоновано новий підхід до вирішення цієї проблеми, який одночасно враховує декілька чинників впливу та дозволяє структурувати їх взаємозв'язки в багатовимірному інформаційному просторі;

3) визначені основні етапи розробки комплексної методики, яка дозволяє отримати кількісні оцінки ефективності використання ТЗЯ з застосуванням знання-орієнтованих, експертних методів обробки відповідної інформації.

Отримані результати можуть бути, зокрема, практично застосовані для визначення показників якості при розробці та модернізації ПС, які працюють у реальному масштабі часу у складі АСУ ТП на об'єктах нафто-газовидобування в Харківському регіоні.

#### Література

1. Трофимов С.А. Case-технологии. Практическая работа в Rational Rose. - М.: Бином, 2003.
2. Андон Ф.И., Коваль Г.И., Коротун Т.М. и др. Основы инженерии качества программных систем. – 2-е изд. - К.: Акадампериодика. – 2007.
3. Офіційний Інтернет-ресурс консорціуму SWEBOK: [www.swebok.org](http://www.swebok.org)
4. Ткачук Н.В., Аль-хассані Захер, Полковников С.В. Разработка и исследование адаптивных схем обмена данными в информационно-управляющих системах реального времени // Вісник НТУ "ХПІ" - Харків: НТУ "ХПІ". 2007. - № 7. – С.101-109.

5. Лаврищева Е.М., Рожнов А.М. Концепция аналитической оценки характеристик качества программных компонентов // Проблемы программирования. – 2004. - № 2-3. - С.180-187
6. Skene, J. and Emmerich, W. A Model-Driven Approach to Non-Functional Analysis of Software Architectures // Proceedings of the 18th IEEE Conference on Automated Software Engineering, October 2003, Montreal, Canada. IEEE Computer Society Press, pp. 236-239.
7. Rodrigues, G.N. and Rosenblum, D.S. and Uchitel, S. Reliability Prediction in Model-Driven Development // Model Driven Engineering Languages and Systems: 8th International Conference, MoDELS 2005, Montego Bay, Jamaica, October 2-7, 2005. Proceedings. Lecture Notes in Computer Science (3713). Springer-Verlag, Berlin / Heidelberg, Germany, pp. 339-354.
8. Wu X., McMullan D., Woodside M. Component Based Performance Prediction // Proceedings of 6th ICSE workshop on Component-Based Software Engineering (CBSE 2003), 2003.
9. Смит К., Уильямс Л. Эффективные решения: практическое руководство по созданию гибкого и масштабируемого программного обеспечения. : Пер. с англ. М.: Изд. "Вильямс". - 2003.
10. Bucchiarone1, H. Muccini, P. Pelliccione, and P. Pierini. Model-Checking plus Testing from Software Architecture Analysis to Code Testing // Proceedings of International Workshop on Integration of Testing Methodologies, ITM '04. October 2004.
11. E.M. Eskenazi, A.V. Fioukov, D.K. Hammer, H. Obbink. Performance Prediction for Software Architectures // Proceedings of PROGRESS 2002 workshop. Netherlands, 2002.
12. Ткачук Н.В., Горелый А.В., Земляной А.А. Комплекс имитационных моделей для исследования компонентных программных решений в ИУС АСУ ТП // Вісник НТУ "ХПІ". - Харків: НТУ "ХПІ". – 2004. - № 18 – С.121-128.
13. Земляной А.А, Ткачук Н.В., Гамзаев Р.А. Комплекс моделей технологии прототипирования для адаптивного проектирования компонентных программных решений // Вісник НТУ "ХПІ" - Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. - № 5. – С.97-107.
14. Ткачук М.В. Моделі, методи та інформаційні технології адаптивної розробки і реінжинірингу інформаційно-управляючих систем // Автореф. дис. на здоб. вчен. ступеня д-ра техн. наук. – НТУ «ХПІ», Харків, 2006.
15. Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. – 280 с.
16. Гульятев А.К. Matlab 5.3 - Имитационное моделирование в среде Windows: Практическое пособие.- СПб.: Корона принт, 2001.