**УДК 004.891.3: 004.3**
**О.В.Поморова, Т.О.Говорущенко**
Хмельницький національний університет, м.Хмельницький, вул.Інститутська, 11

# ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ПІДТРИМКА ПРОЦЕСУ ОЦІНЮВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ СКЛАДНОСТІ ТА ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

*©Оксана Поморова, Тетяна Говорущенко*

***Дослідження присвячено реалізації нейромережного методу та інтелектуальної системи оцінювання і прогнозування складності та якості програмного забезпечення, які на основі аналізу метрик етапу проектування надають можливість здійснити порівняльний аналіз різних варіантів реалізації проекту та обрати кращий з них за характеристиками складності та якості.***

***Research is dedicated to development of artificial neural network's method and intelligence system of evaluation and prediction of software complexity and quality, which provides the realization of comparative analysis of different project versions and selection of the best of them accordance its characteristics on the basis of design stage metrics analysis.***

## Вступ

Методологія Safety Case (Safety computer-aided software engineering) розвивається вже більше 20 років [1, 2]. Наразі ця методологія стала загальноприйнятою, однак рівень її автоматизації залишається низьким.

Процес створення безпечного програмного забезпечення (ПЗ) пов'язаний і залежить від значної кількості документів (вимоги, стандарти, специфікації), вихідного коду, методів оцінювання ПЗ та аналізу їх результатів, результатів тестування та ступеня їх документування. Рис.1 [3, 4] представляє узагальнену модель методології Safety Case.

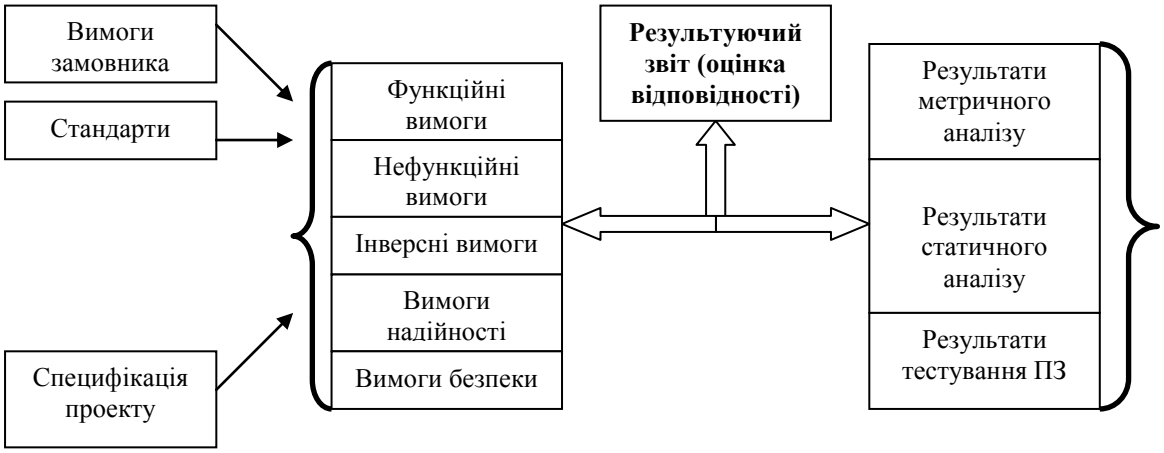


Рис.1. Узагальнена модель методології Safety Case

Основні частини моделі Safety Case:

- *профайл вимог до програмного забезпечення* з врахуванням стандартів щодо розроблення ПЗ, стандартів предметної галузі та вимог замовника - для формування такого профайлу аналізуються функційні, нефункційні та інверсні вимоги до ПЗ систем критичного застосування; досліджуються вимоги щодо надійності та безпеки ПЗ і оцінюється повнота всіх видів вимог;
- *профайл результатів аналізу ПЗ* - для формування такого профайлу досліджуються та аналізуються результати метричного аналізу, програмний код та результати тестування ПЗ;
- *оцінка відповідності одержаного ПЗ* (профайл результатів) *поставленим вимогам* (профайл вимог).

Одним з основних засобів аналізу та оцінювання якості ПЗ є метричний аналіз. Метрика ПЗ - це міра, яка дозволяє одержати числове значення деякої властивості ПЗ або його специфікацій.

Незважаючи на численні дослідження програмних метрик, в цій галузі залишається багато невирішених питань: 1) відсутність єдиних стандартів на метрики (створено більше тисячі метрик), тому кожен постачальник "вимірювальної" системи пропонує власні способи оцінки якості ПЗ і відповідні метрики; 2) задача інтерпретації значень метрик - для більшості користувачів як метрики, так і їх значення не є інформативними; 3) на етапі проектування ПЗ основна увага при

виборі проекту приділяється вартості, тривалості розроблення, репутації фірми-проектувальника та технологіям розроблення ПЗ; 4) за статистичними даними [5], лише 1,5% софтверних організацій намагаються оцінити якість процесів і готового продукту кількісно за допомогою метрик, і лише 0,5% софтверних організацій намагаються покращити роботу, керуючись кількісними критеріями якості ПЗ з метою випуску бездефектних продуктів.

Приймаючи до уваги результати аналізу методів оцінки ПЗ, зроблено висновок, що перспективним напрямком досліджень є розроблення інтелектуальних систем, які аналізуватимуть і опрацьовуватимуть результати метричного аналізу етапу проектування та надаватимуть оцінку проекту та прогноз про характеристики ПЗ, що розробляється.

**Метрики складності та якості програмного забезпечення етапу проектування**

В якості базових для оцінювання і прогнозування складності та якості програмного забезпечення обрано 9 метрик етапу проектування ПЗ з точними значеннями та 15 метрик етапу проектування ПЗ з прогнозованими значеннями Діапазони значень метрик етапу проектування програмного забезпечення, які будуть використовуватись, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Інтервали значень метрик складності та якості ПЗ етапу проектування

| № | *Метрики етапу проектування з точними значеннями* | *Метрики етапу проектування з прогнозованими значеннями* |
|---|---|---|
| 1 | Метрика Чепіна: -1, 0..32500 | Очікувана LOC-оцінка: -1, 0..50000 |
| 2 | Метрика Джилба (абсолютна модульна складність): -1, 0..2450 | Метрика Холстеда: -1, 0..1562500 |
| 3 | Метрика Мак-Клура: -1, 0..120050 | Метрика Маккейба: -1, 0..2402 |
| 4 | Метрика Кафура: -1, 0..497500 | Метрика Джилба (відносна логічна складність): -1, 0..1 |
| 5 | Метрика зв'язності: -1, 0..10 | Прогнозована кількість операторів програми: -1, 0..50000 |
| 6 | Метрика зчеплення: -1, 0..9 | Прогнозована оцінка складності інтерфейсів ПЗ: -1, 0..1 |
| 7 | Метрика звертання до глобальних змінних: -1, 0..1 | Прогнозований загальний час розроблення ПЗ (в робочих днях): -1, 0..520 |
| 8 | Час модифікації моделей: -1, 0..46 | Час виконання робіт процесу проектування ПЗ (в робочих днях): -1, 0..182 |
| 9 | Загальна кількість знайдених помилок при інспектуванні моделей та прототипів модулів: -1, 0..5000 | Очікувана вартість розроблення ПЗ (в доларах США): -1, 0..25000 |
| 10 | | Прогнозована вартість перевірки якості ПЗ (в доларах США): - 1, 0..2500 |
| 11 | | Прогнозована продуктивність розроблення ПЗ (в хвилинах на один рядок коду): -1, 0..5 |
| 12 | | Прогнозовані витрати на реалізацію програмного коду (в доларах США): -1, 0..8750 |
| 13 | | Прогнозований функційний розмір (FP): -1, 0..2945 |
| 14 | | Прогнозована оцінка трудовитрат за моделлю Боема (в людиномісяцях): -1, 0..394 |
| 15 | | Прогнозована оцінка тривалості проекту за моделлю Боема (в робочих днях): -1, 0..520 |

В результаті опрацювання метрик, наведених в таблиці 1, потрібно одержати оцінку результатів проектування та прогноз характеристик складності та якості ПЗ, що розробляється на основі того чи іншого проекту.

**Нейромережний метод оцінювання і прогнозування складності та якості програмного забезпечення (НМОП)**

НМОП дозволяє оцінити проект та спрогнозувати характеристики складності та якості розроблюваного ПЗ на основі точних або прогнозованих значень метрик складності та якості ПЗ етапу проектування.

НМОП базується на опрацюванні наступних множин:

- множина метрик складності етапу проектування з точними значеннями $CMEV = \{cmev_i \mid i = 1..4\}$;
- множина метрик якості етапу проектування з точними значеннями $QMEV = \{qmev_j \mid j = 1..5\}$;
- множина метрик складності етапу проектування з прогнозованими значеннями $CMPV = \{cmpv_k \mid k = 1..6\}$;
- множина метрик якості етапу проектування з прогнозованими значеннями $QMPV = \{qmpv_n \mid n = 1..9\}$.

Результатами опрацювання цих множин є:

- оцінка складності проекту $PCE$;
- оцінка якості проекту $PQE$;
- прогноз складності розролюваного програмногозабезпечення $SCP$;
- прогноз якості розроблюваного програмного забезпечення $SQP$.

Основою для одержання оцінки складності проекту є елементи множини $CMEV$. Основою для одержання оцінки якості проекту є елементи множин $CMEV$ і $QMEV$. Основою для одержання прогнозу складності розроблюваного ПЗ є елементи множини $CMPV$, але враховуються й елементи множин $CMEV$ і $QMEV$. Основою для одержання прогнозу якості розроблюваного ПЗ є елементи множин $CMPV$ і $QMPV$, але враховуються й елементи множин $CMEV$ і $QMEV$.

Для оцінювання та прогнозування складності та якості ПЗ на основі метричного аналізу слід вирішити задачу визначення взаємозв'язку між значеннями метрик та якістю і складністю проекту та ПЗ. Одним із засобів, який дозволяє узагальнити інформацію та виявити залежності між вхідними і результуючими даними, є штучні нейронні мережі (ШНМ).

Результати метричного аналізу опрацьовуватимемо з використанням ШНМ архітектури багатошарового персептрону.

Вхідними даними для ШНМ є множина метрик складності етапу проектування з точними значеннями, множина метрик якості етапу проектування з точними значеннями, множина метрик складності етапу проектування з прогнозованими значеннями, множина метрик якості етапу проектування з прогнозованими значеннями.

Результатом роботи ШНМ є 4 показники: оцінка складності проекту; оцінка якості проекту; прогноз складності розроблюваного ПЗ; оцінка якості розроблюваного ПЗ.

Концепція НМОП представлена на рис.2.

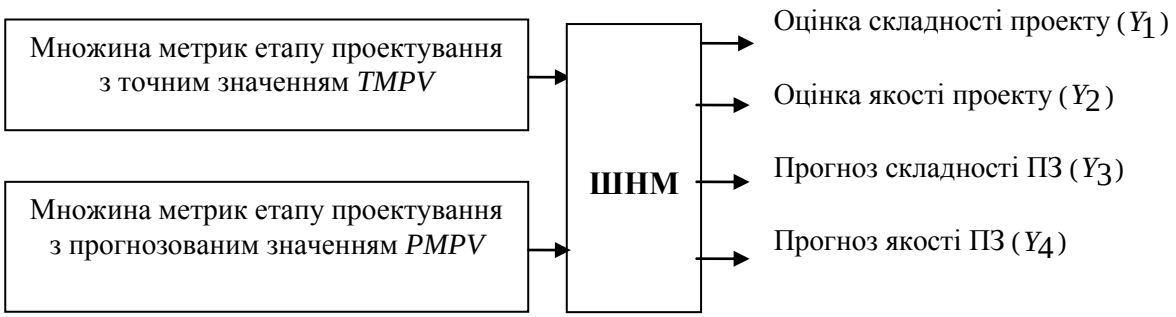


Рис.2. Концепція НМОП

ШНМ має 9 входів для кількісних значень метрик етапу проектування з точними значеннями та 15 входів для кількісних значень метрик етапу проектування з прогнозованими значеннями. Якщо певна метрика не визначалась, то на відповідний вхід подається -1.

Оцінка складності проекту, оцінка якості проекту, прогноз складності розроблюваного ПЗ, прогноз якості розроблюваного ПЗ є значеннями з діапазону [0, 1], де 0 - свідчить про недостатність інформації щодо результатів метричного аналізу, близько 0 - проект або розроблюване програмне забезпечення має високу складність або низьку якість та 1 - проект або розроблюване програмне забезпечення є простим або високоякісним.

Вищезазначені залежності результуючих оцінок від вхідних множин метрик враховуються при навчанні нейромережі.

На основі аналізу 4-х одержаних результатів робиться висновок про якість і складність проекту та очікувану якість і складність розроблюваного за проектом програмного забезпечення.

ШНМ архітектури багатошаровий персептрон має 24 нейрони вхідного шару, 14 нейронів апроксимуючого шару, 10 нейронів коригуючого шару та 4 нейрони вихідного шару. Структурну схему шарів ШНМ у пакеті Simulink показано на рис.3.

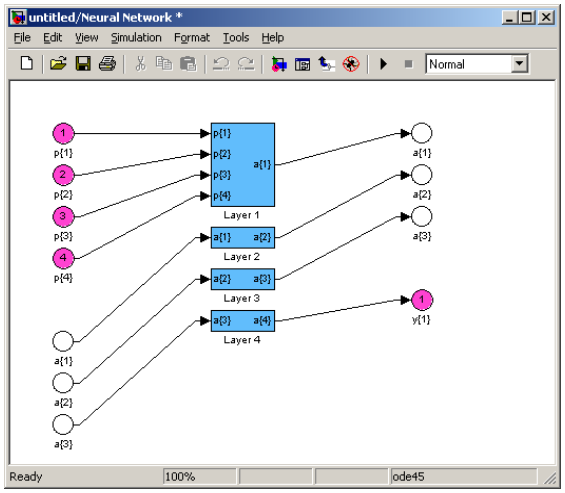


Рис.3. Структурна схема шарів ШНМ у пакеті Simulink

Побудована нейромережа навчалась на основі вибірки з 1935 векторів та тестувалась вибіркою з 324 векторів за однокроковим алгоритмом методу січної (OSS). Похибка навчання становить $\xi = 0{,}102197$. Процес навчання та тестування нейромережі за однокроковим методом січної представлено на рис.4, де нижня лінія відображає похибку процесу навчання ШНМ, верхня лінія - тестування ШНМ.

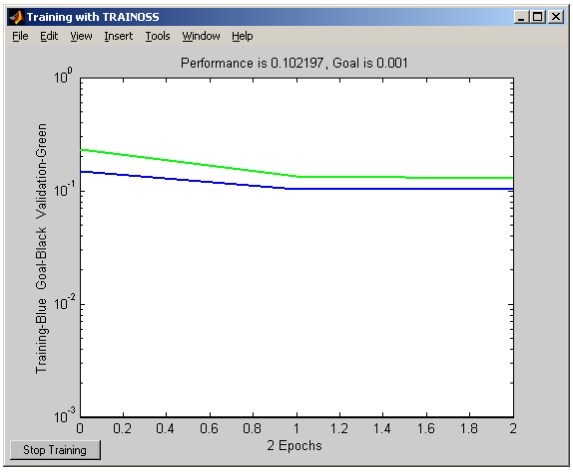


Рис.4. Навчання і тестування нейромережі за методом OSS

**Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень процесу оцінювання і прогнозування складності та якості програмного забезпечення (ІСОП)**

Для оцінювання результатів проектування і прогнозування характеристик складності та якості ПЗ на основі опрацювання метрик етапу проектування з точними та прогнозованими значеннями розроблено інтелектуальну систему оцінювання і прогнозування складності та якості програмного забезпечення (ІСОП). На вхід ІСОП подаються кількісні значення метрик етапу проектування з точними та прогнозованими значеннями, а результатом роботи є висновки про складність та якість проекту та розроблюваного ПЗ. Структурна схема ІСОП представлена на рис.5.

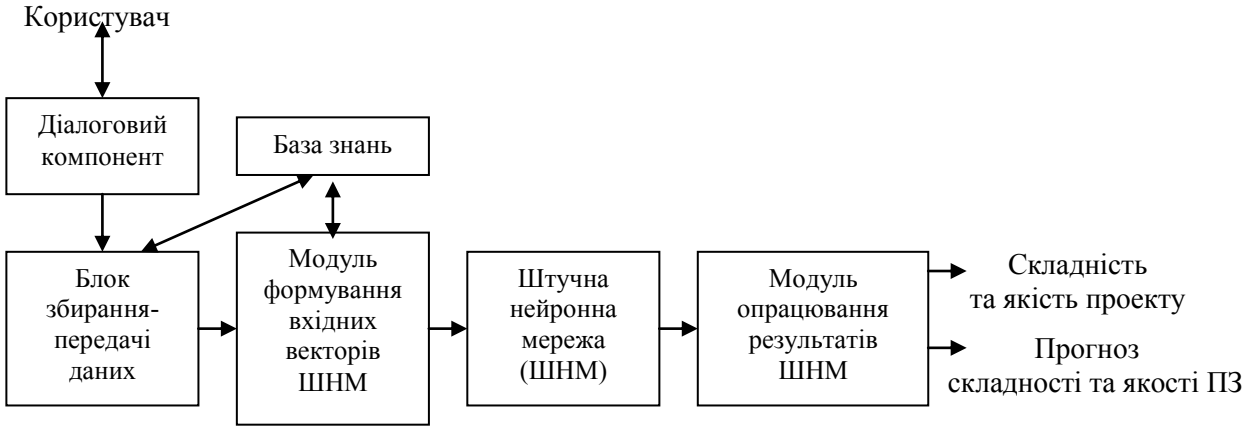


Рис.5. Структурна схема ІСОП

ІСОП складається з наступних компонентів: 1) діалоговий компонент; 2) блок збирання-передачі даних; 3) база знань; 4) модуль формування вхідних векторів для ШНМ; 5) штучна нейронна мережа; 6) модуль опрацювання результатів ШНМ.

*Діалоговий компонент* візуалізує роботу блоку збирання-передачі даних, відображає роботу системи та видає користувачу повідомлення в зрозумілій для нього формі. *Блок збирання-передачі даних* зчитує інформацію користувача щодо кількісних значень точних та прогнозованих метрик етапу проектування ПЗ, зберігає одержану інформацію в базі знань та передає її у модуль формування вхідних векторів ШНМ. *База знань* містить кількісні значення точних та прогнозованих метрик етапу проектування ПЗ, вхідні вектори ШНМ та правила опрацювання результатів роботи ШНМ.

*Штучна нейронна мережа* здійснює апрокисмацію метрик ПЗ етапу проектування та надає кількісну оцінку складності та якості проекту та значення прогнозу характеристик складності та якості розроблюваного ПЗ згідно нейромережного методу оцінювання і прогнозування складності та якості ПЗ.

*Модуль формування вхідних векторів ШНМ* готує значення метрик з бази знань до подачі на входи ШНМ.

На основі 4-х одержаних від ШНМ результатів *модуль опрацювання результатів роботи ШНМ* робить висновки про якість і складність проекту та очікувану якість і складність розроблюваного програмного забезпечення за наступними правилами:

- якщо $PCE = 0$, то метрики складності з точними значеннями не визначено;
- якщо $PCE \to 0$, то проект складний для реалізації та передбачає високу вартість реалізації;
- якщо $PCE \to 1$, то проект простий для реалізації;
- якщо $PQE = 0$, то метрики якості з точними значеннями не визначено;
- якщо $PQE \to 0$, то проект неякісний;
- якщо $PQE \to 1$, то проект задовольняє вимоги замовника щодо якості;
- якщо $SCP = 0$, то метрики складності з прогнозованими значеннями не визначено;
- якщо $SCP \to 0$, то майбутнє ПЗ буде мати суттєву складність;
- якщо $SCP \to 1$, то майбутнє ПЗ очікується відносно простим;

- якщо $SQP = 0$, то метрики якості з прогнозованими значеннями не визначено;
- якщо $SQP \to 0$, то майбутнє ПЗ буде неякісним;
- якщо $SQP \to 1$, то майбутнє ПЗ очікується високої якості.

Використовуючі такі правила, ІСОП надає оцінку складності та якості проекту і прогноз складності та якості розроблюваного ПЗ, які допомагають замовнику прийняти правильні рішення щодо вибору проекту.

**Використання результатів функціювання ІСОП**

Аналіз результатів ШНМ здійснювався на основі проектів, розроблених софтверною компанією "СТУ-Електронікс" м.Хмельницького. Приклади результатів для 2-х проектів представлено у таблиці 2.

Таблиця 2

Опрацювання метрик етапу проектування з використанням ШНМ

| *№* | *Метрики етапу проектування* | *Результати ШНМ* |
|---|---|---|
| 1 | Метрика Мак-Клура - 90000<br>Метрика Кафура - 376900<br>Метрика Чепіна - 24530<br>Метрика зв'язності - 3<br>Метрика зчеплення - 7<br>Очікувана LOC-оцінка - 40135<br>Метрика Холстеда - 124928<br>Метрика Мак-Кейба - 1903<br>Очікуваний функційний розмір (FP) - 2220 | $Y_1=0,25$<br>$Y_2=0,3$<br>$Y_3=0,2$<br>$Y_4=0,26$ |
| 2 | Метрика Мак-Клура - 12000<br>Метрика Кафура - 64238<br>Метрика Чепіна - 3241<br>Метрика зв'язності - 9<br>Метрика зчеплення - 3<br>Метрика звертання до глобальних змінних - 0,089<br>Очікувана LOC-оцінка - 6240<br>Метрика Холстеда - 162251<br>Метрика Джилба (відносна логічна складність)- 0,12<br>Метрика Мак-Кейба - 298<br>Прогнозована оцінка трудовитрат за моделлю Боема - 60 | $Y_1=0,9$<br>$Y_2=0,92$<br>$Y_3=0,89$<br>$Y_4=0,86$ |

Згідно отриманих результатів: 1-ий проект - складний та низької якості, розроблюване ПЗ матиме такі ж характеристики; 2-ий проект є простим і має високу якість, майбутнє ПЗ також очікується достатньо простим і високоякісним.

Основними параметрами при виборі варіанту реалізації ПЗ наразі є вартість та тривалість розроблення і репутація фірми-проектувальника, але рішення, прийняті на основі цих параметрів, не завжди гарантують належну якість ПЗ. Висновки ІСОП дозволяють порівняти між собою різні версії проектів у ситуації, коли вартість і тривалість приблизно однакові. Наприклад, розглянемо дані щодо 2-х проектів, розроблених софтверною компанією "СТУ-Електронікс" м.Хмельницького (таблиця 3).

Таблиця 3

Критерії вибору проекту

| *№* | *Значення $Y_1, Y_2$* | *Значення $Y_3, Y_4$* | *Вартість проекту* | *Тривалість проекту* |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $Y_1$=0,85<br>$Y_2$=0,86 | $Y_3$=0,81<br>$Y_4$=0,87 | 12500 (дол.США) | 250<br>(роб.днів) |
| 2 | $Y_1$=0,22<br>$Y_2$=0,25 | $Y_3$=0,28<br>$Y_4$=0,27 | 13125 (дол.США) | 260 (роб.днів) |

Характеристики проектів з таблиці 3 свідчать, що обидва проекти мають приблизно однакові вартість та час розроблення, але суттєво різні оцінки складності та якості проекту і прогнози щодо складності та якості розроблюваного ПЗ, тому на основі лише вартості та часу розроблення софтверна організація може прийняти хибний висновок щодо вибору варіанту реалізації проекту. Саме висновки ІСОП допоможуть зробити вірний вибір.

**Висновки**

З результатів аналізу методів метричної оцінки ПЗ слідує потреба і актуальність наукових досліджень в галузі оцінювання та прогнозування складності та якості ПЗ.

Запропоновані нейромережний метод та інтелектуальна система оцінювання і прогнозування складності та якості програмного забезпечення дають змогу прийняти мотивоване та обгрунтоване рішення щодо вибору проекту та його реалізації на основі не лише вартісних та часових характеристик, але й з врахуванням характеристик складності та якості проекту та розроблюваного програмного забезпечення.

Проблеми:

- відсутність метричної інформації для нарощування розміру навчальної та тестової вибірок;
- необхідність деяких диверсних утиліт для порівняння результатів опрацювання метричної інформації для певного проекту;
- необхідність розроблення метрик оцінки складності розроблюваного ПЗ з точки зору склданості чи простоти супроводу, зручності використання та ефективності методів, обраних для вирішення задачі.

В ході розроблення НМОП та ІСОП, автори виявили ряд задач, над якими слід працювати в майбутньому:

- вибір з множин метрик етапу проектування з точним та прогнозованим значенням саме тих метрик, які реагують на проект певного типу і відображають особливості такого проекту;
- навчання ШНМ (вірне обчислення вагових коефіцієнтів для значення кожного з входів) з метою одержання на виході 4-х оцінок якості та складності проекту та ПЗ в діапазоні [0,1];
- розробка критеріїв, за якими б можна було довести достовірність вибору архітектури ШНМ, достовірність навчання ШНМ та достовірність її функціювання.

**Література**

*1. Bishop P. A Methodology for Safety Case Development / P. Bishop. - 1998* <*http://www.adelard.com/papers/sss98web.pdf*>

*2. Kelly T. Arguing Safety – A systematic Approach to Managing Safety Cases / T. Kelly. - 1998* <*http://www-users.cs.york.ac.uk/~tpk/tpkthesis.pdf*>

*3. A. Gordeyev and V. Kharchenko, eds. Case-Based Software Reliability Assessment by Fault Injection Unified Procedures (paper presented at the 2008 International Workshop on Software Engineering in East and South Europe, Leipzig, May 2008), pp.1-8*

*4. K.I. Netkachova. Safety Case Methodology: Architecting principles // Радіоелектронні і комп'ютерні системи – Харків: НАУ "ХАІ", 2010 – № 7, с.109-112*

*5. Липаев В.В. Выбор и оценивание характеристик качества программных средств: Методы и стандарты - М.: Синтег, 2001 - 224 с.*