

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ СКЛАДНОСТІ ТА ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

*Стаття присвячена розробленню та реалізації інтелектуальної системи оцінювання і прогнозування складності та якості програмного забезпечення (ІСОП) на основі нейромережного методу оцінювання та прогнозування складності та якості програмного забезпечення (НМОП). ІСОП аналізує та опрацьовує метрики етапу проектування і надає висновки щодо складності та якості проекту і розроблюваного за проектом програмного забезпечення, які допомагають замовнику зробити вірний вибір між проектами у ситуації, коли вартість та тривалість проектів приблизно однакові.*

### Вступ

Якість програмного забезпечення (ПЗ) - це характеристика ПЗ, яка відображає ступінь його відповідності вимогам. При цьому вимоги можуть трактуватись досить широко, що породжує цілий ряд незалежних визначень поняття якості. Згідно визначення ISO [1], якість - це ступінь відповідності пристуніх характеристик вимогам. Згідно [2], якість - це повнота властивостей і характеристик продукту, процесу або послуги, які забезпечують здатність задовольняти оголошеним або передбачуваним потребам.

Забезпечення якості - це сукупність планованих та систематичних заходів, необхідних для впевненості в тому, що продукція або процеси задовольняють певним вимогам до якості. Система забезпечення якості застосовно до програмних засобів - це сукупність методів та засобів організації керуючих та виконавчих підрозділів підприємства, які беруть участь в проектуванні, розробці та супроводженні комплексів програм з метою надання їм властивостей, що забезпечують задоволення певних потреб замовників та споживачів при мінімальних або допустимих витратах ресурсів.

Ключовим фактором забезпечення ефективного застосування програмних продуктів є ретельне оцінювання та досягнення високих значень показників якості.

Одним з основних засобів аналізу та оцінювання якості ПЗ є метричний аналіз. Згідно [3], метрика визначається як міра ступеня володіння властивістю, яка має числове значення. Взагалі, метрика ПЗ - це міра, яка дозволяє одержати числове значення деякої властивості ПЗ або його специфікацій.

Головною проблемою при роботі з метриками є низький рівень автоматизації аналізу та опрацювання метрик програмного забезпечення. Ця проблема ґрунтується на деяких невирішених питаннях метрології ПЗ. Одним з таких питань є відсутність єдиних стандартів на метрики (створено більше тисячі метрик), тому кожен постачальник "вимірювальної" системи пропонує власні способи оцінки якості ПЗ і відповідні метрики. Складною також є задача інтерпретації значень метрик - для більшості користувачів як метрики, так і їх значення не є інформативними. На етапі проектування ПЗ основна увага при виборі проекту приділяється вартості, тривалості розроблення, репутації фірми-проектувальника та технологіям розроблення ПЗ. За статистичними даними [4], 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 на основі аналізу та опрацювання метрик етапу проектування надаватимуть оцінку проекту та прогноз складності та якості розроблюваного ПЗ.

## 1. Структура інтелектуальної системи 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). В якості базових для опрацювання інтелектуальною системою 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 [5].

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.2.

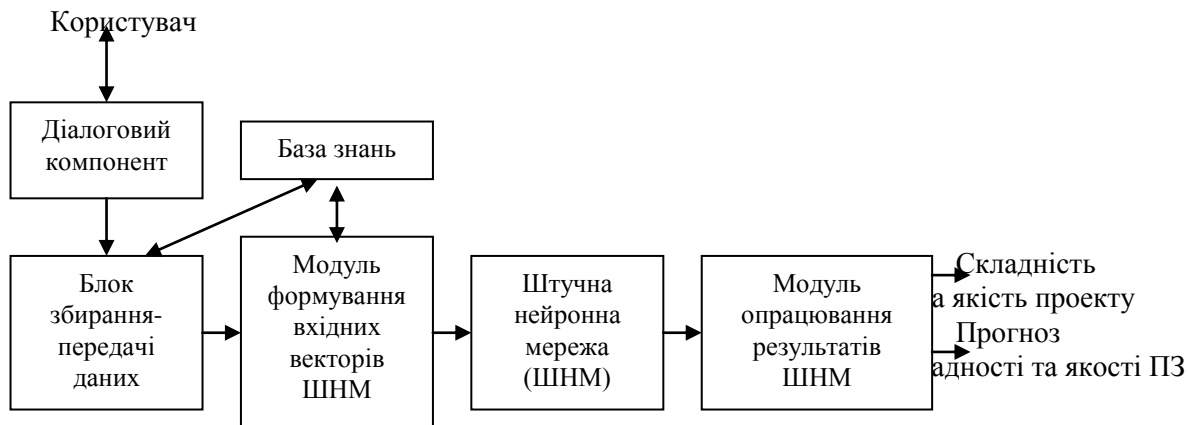


Рис.2. Структурна схема ІСОП

ІСОП складається з наступних компонентів:

- діалоговий компонент;
- блок збирання-передачі даних;
- база знань;
- модуль формування вхідних векторів для штучної нейронної мережі (ШНМ);
- штучна нейронна мережа;
- 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 апроксимацію метрик ПЗ етапу проектування та надає кількісну оцінку складності та якості проекту та значення прогнозу характеристик складності та якості розроблюваного ПЗ. Вхідними даними для ШНМ є множина метрик етапу проектування з точним значенням  $TMP = \{tmp_a \mid a = 1..9\}$  та множина метрик етапу проектування з прогнозованим значенням  $RMP = \{rmp_b \mid b = 1..15\}$ . Якщо певна метрика не визначалась, то відповідний елемент множини дорівнюватиме -1.

*Модуль формування вхідних векторів ШНМ* підготовляє значення метрик з бази знань до подачі на входи ШНМ. ШНМ має 9 входів  $x'$  та 15 входів  $x$ , на входи  $x'$  подаються кількісні значення метрик етапу проектування з точним значенням, а на входи  $x$  подаються кількісні значення метрик етапу

проектування з прогнозованим значенням. На вхід  $x'_i$  ( $i=1..9$ ) подається значення  $i$ -го елемента множини ТМР, на вхід  $x_j$  ( $j=1..15$ ) подається  $j$ -й елемент множини РМР.

Для вирішення задачі аналізу метрик та прогнозування характеристик якості ПЗ обрано багат шаровий перцептрон [5], який має 24 нейрони вхідного шару, 14 нейронів апроксимуючого шару, 10 нейронів коригуючого шару та 4 нейрони вихідного шару. Визначення діапазонів значень вхідних векторів, обґрунтування вибору архітектури ШНМ, реалізацію ШНМ у пакеті Matlab та візуалізацію у пакеті Simulink наведено у [5]. Архітектура ШНМ представлена на рис.3.

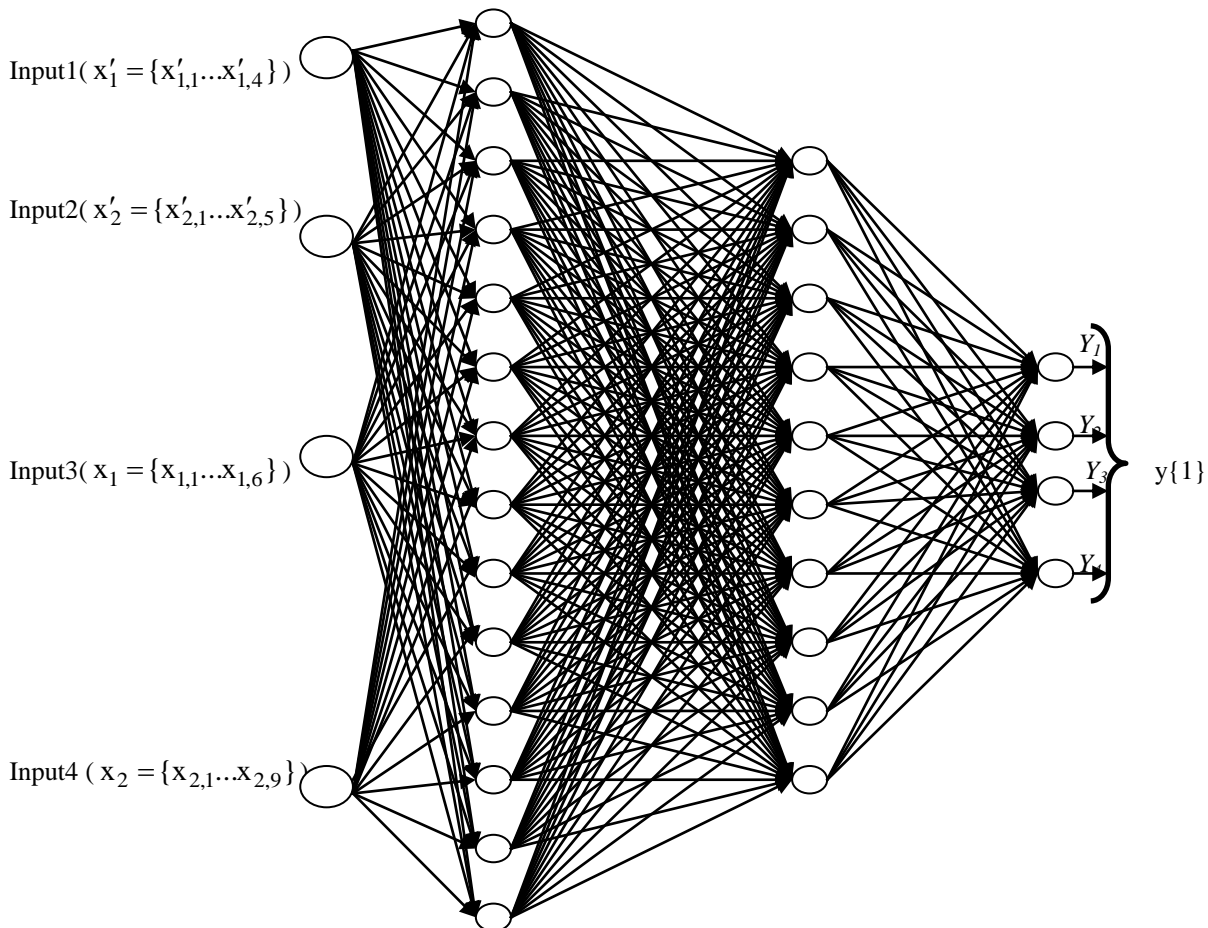


Рис.3. Архітектура ШНМ

Побудована неймережа навчалась навчальною вибіркою з 1935 векторів та тестувалась тестовою вибіркою з 324 векторів за однокроковим алгоритмом методу січної (OSS). Похибка навчання становить  $\xi = 0,102197$ .

ШНМ опрацьовує набори вхідних векторів та видає 4 вихідних значення з діапазону  $[0, 1]$ : OSP - оцінка складності проекту; OQP - оцінка якості проекту; PSPZ- прогноз складності ПЗ; PQPZ- прогноз якості ПЗ.

Слід сказати, що значення OSP залежить від метрик складності з точними значеннями на етапі проектування; значення OQP в більшій мірі залежить від метрик якості з точними значеннями на етапі проектування, але враховуються також і метрики складності з точними значеннями; значення PSPZ в більшій мірі залежить від метрик складності з прогнозованими значеннями на етапі проектування, але враховує й метрики складності та якості з точними значеннями; значення PQPZ більшою мірою залежить від метрик якості з прогнозованими значеннями на етапі проектування, але

враховує також метрики складності та якості з точними значеннями і метрики складності з прогнозованими значеннями.

На основі 4-х одержаних 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  $OSP = 0$ , то метрики складності з точними значеннями не визначено; якщо  $OSP \rightarrow 0$ , то проект складний для реалізації та передбачає високу вартість реалізації; якщо  $OSP \rightarrow 1$ , то проект простий для реалізації;
- якщо  $OQP = 0$ , то метрики якості з точними значеннями не визначено; якщо  $OQP \rightarrow 0$ , то проект неякісний; якщо  $OQP \rightarrow 1$ , то проект задовольняє вимоги замовника щодо якості;
- якщо  $PSPZ = 0$ , то метрики складності з прогнозованими значеннями не визначено; якщо  $PSPZ \rightarrow 0$ , то майбутнє ПЗ буде мати суттєву складність; якщо  $PSPZ \rightarrow 1$ , то майбутнє ПЗ очікується простим;
- якщо  $PQPZ = 0$ , то метрики якості з прогнозованими значеннями не визначено; якщо  $PQPZ \rightarrow 0$ , то майбутнє ПЗ буде неякісним; якщо  $PQPZ \rightarrow 1$ , то майбутнє ПЗ очікується високої якості.

## 2. Реалізація ICOП та приклад формування системою ICOП висновків про складність та якість проекту і розроблюваного ПЗ

Система ICOП розроблена мовою Delphi 7.

Перше інтерфейсне вікно системи виглядає наступним чином (рис.4). Воно має довідковий характер, оскільки покаже користувачу всі метрики, які опрацьовуються системою ICOП.

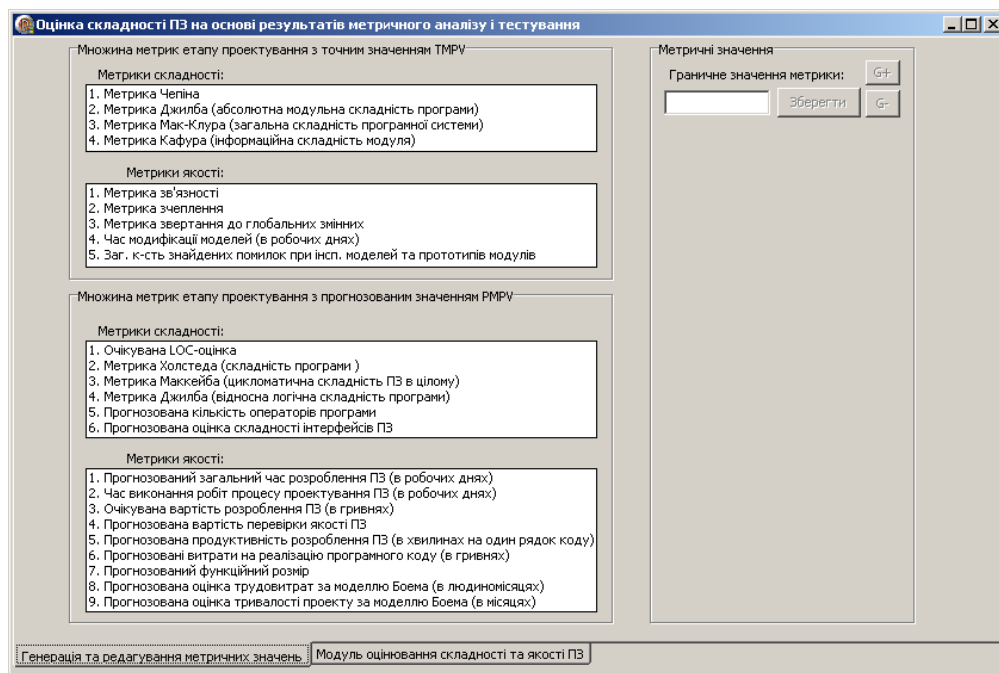


Рис.4. Перше інтерфейсне вікно системи ICOП (довідкове)

При виборі певної метрики у правій частині вікна відобразатимуться граничні значення метрики та попередні значення даної метрики, які були введені при користуванні системою, та значення відповідного вихідного значення системи як реакція саме на цю метрику (рис.5). Якщо користувачем вводяться декілька метрик певного типу або ж певна кількість метрик різних типів, то вони корелюють між собою, і вихідне значення системи враховує всі введені значення метрик.

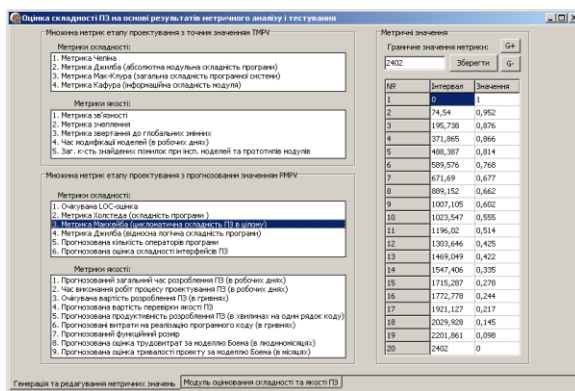


Рис.5. Інтерфейсне вікно системи з інформацією про діапазон обраної метрики та з попередніми введеними значеннями обраної метрики

Для введення значень метрик та одержання висновків системи слід перейти на вкладку "Редагування метричних значень", яка на початку роботи із системою має вигляд, показаний на рис.6. В лівій частині вікна потрібно вводити значення метрик, які визначались для проекту, або -1, якщо дана метрика не визначалась. Після введення всіх метрик слід натиснути кнопку "Отримати оцінку" для одержання висновків системи ІСОП.

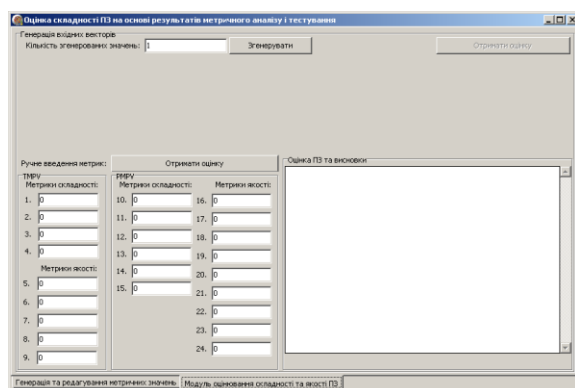


Рис.6. Інтерфейсне вікно системи ІСОП "Редагування метричних значень" до введення значень метрик

У якості вхідних даних ІСОП будемо використовувати результати метричного аналізу 3-х проектів, розроблених софтверною компанією "СТУ-Електронікс" м.Хмельницького (таблиця 1).

Таблиця 1. Результати метричного аналізу етапу проектування

№ пр.	Метрики складності та якості з точними значеннями на етапі проектування	Метрики складності та якості з прогнозованими значеннями на етапі проектування
(1)	(2)	(3)
1	<p>Метрика Чепіна – 22750</p> <p>Метрика Джилба (абсолютна) – 1730</p> <p>Метрика Мак-Клура – 84050</p> <p>Метрика Кафура – не визначалась</p> <p>Метрика зв'язності – 3</p> <p>Метрика зчеплення – 7</p> <p>Метрика виклику глобальних змінних – не визначалась</p>	<p>Очікувана LOC-оцінка – 35300</p> <p>Метрика Холстеда – не визначалась</p> <p>Метрика Маккейба – 1680</p> <p>Метрика Джилба (відносна) - 0,7</p> <p>Очікувана кількість операторів програми – 35000</p> <p>Очікувана оцінка складності інтерфейсів – не визначалась</p>

(1)	(2)	(3)
	<p>Час модифікації моделей – 33  Кількість виявлених помилок при інспектуванні моделей та прототипів – не визначалась</p>	<p>Загальний час розроблення ПЗ – 364 робочих дні  Час виконання робіт етапу проектування – 127 робочих дні  Очікувана вартість розроблення ПЗ – 140000 гривень  Очікувана вартість перевірки якості ПЗ – не визначалась  Прогнозована продуктивність розроблення ПЗ – не визначалась  Прогнозовані витрати на реалізацію програмного коду – 49000 гривень  Очікуваний функційний розмір FP - 2100  Прогнозована оцінка трудовитрат за моделлю Боєма – 283 людиномісяців  Прогнозована оцінка тривалості проекту за моделлю Боєма – не визначалась</p>
2	<p>Метрика Чепіна – 16250  Метрика Джилба (абсолютна) – 1250  Метрика Мак-Клура – 60050  Метрика Кафура – 257000  Метрика зв'язності – 5  Метрика зчеплення – 4  Метрика виклику глобальних змінних – 0,5  Час модифікації моделей – 24  Кількість виявлених помилок при інспектуванні моделей та прототипів – 2500</p>	<p>Не визначались</p>
3	<p>Не визначались</p>	<p>Очікувана LOC-оцінка – 10800  Метрика Холстеда – 312501  Метрика Маккейба – 480  Метрика Джилба (відносна) - 0,2  Кількість операторів програми – 10000  Очікувана оцінка складності інтерфейсів – 0,2  Загальний час розроблення ПЗ – 104 робочих дні  Час виконання робіт етапу проектування – 37 робочих днів  Очікувана вартість розроблення ПЗ – 40000 гривень  Очікувана вартість перевірки якості ПЗ – 4000 гривень  Прогнозована продуктивність розроблення ПЗ – 1,1 хвилина на один рядок коду  Прогнозовані витрати на реалізацію програмного коду – 14000 гривень  Очікуваний функційний розмір FP - 560  Прогнозована оцінка трудовитрат за моделлю Боєма – 80 людиномісяців  Прогнозована оцінка тривалості проекту за моделлю Боєма – 5 місяців</p>

Після одержання даних метричного аналізу блок збирання-передачі даних передає інформацію у модуль формування вхідних векторів ШНМ та зберігає у розділі даних бази знань. Модуль формування вхідних векторів ШНМ створює наступні вектори для входів ШНМ (таблиця 2).

Таблиця 2. Приклад вхідних векторів ШНМ

№ пр.	Input1 ( $x'_1$ )	Input2 ( $x'_2$ )	Input3 ( $x_1$ )	Input4 ( $x_2$ )
1	{[22750;1730;84050;-1];	[3;7;-1;33;-1];	[35300;-1;1680;0.7;35000; -1];	[364;127;140000;-1;-1;9000;2100;283;-1]}
2	{[16250;1250;60050;257000];	[5;4;0.5;24;2500];	[-1;-1;-1;-1;-1;-1];	[-1;-1;-1;-1;-1;-1;-1;-1;-1;-1]}
3	{[-1;-1;-1;-1];	[-1;-1;-1;-1;-1];	[10800;312501;480;0.2;10000;0.2];	[104;37;40000;4000;1.1;14000;560;80;5]}

ШНМ опрацює вхідні вектори та видає результати, на основі яких, згідно правил з бази знань, модуль опрацювання результатів роботи ШНМ робить певні висновки (таблиця 3).

Таблиця 3. Результати ШНМ та висновки щодо проаналізованих проектів

№ пр.	Значення $Y_1$ (OSP) та висновок ІСОП	Значення $Y_2$ (OQP) та висновок ІСОП	Значення $Y_3$ (PSPZ) та висновок ІСОП	Значення $Y_4$ (PQPZ) та висновок ІСОП
1	0.31	0.30	0.34	0.29
	Проект складний для реалізації	Проект має низьку якість	Майбутнє ПЗ матиме суттєву складність	Майбутнє ПЗ матиме низьку якість
2	0.50	0.51	0	0
	Проект має середню складність	Проект має середню якість	Метрики складності з прогнозованими значеннями не визначались	Метрики якості з прогнозованими значеннями не визначались
3	0	0	0.83	0.80
	Метрики складності з точними значеннями не визначались	Метрики якості з точними значеннями не визначались	Майбутнє ПЗ очікується доволі простим	Майбутнє ПЗ очікується високої якості

Як видно з таблиці 3, для проекту №2 не визначались метрики складності та якості з прогнозованими значеннями, тому система не змогла зробити прогноз складності та якості розроблюваного за проектом програмного забезпечення. Для проекту №3 не визначались метрики складності та якості з точними значеннями, тому система не змогла оцінити складність та якість проекту. Дослідження проектів з визначеними усіма групами метрик показують, що оцінки складності та якості проекту і оцінки складності та якості майбутнього ПЗ практично однакові. Згідно отриманих результатів, найпростішим та найякіснішим є проект №3. Програмне забезпечення, розроблене за проектом №3, теж буде достатньо простим та високоякісним.

Приклад опрацювання метрик реалізованою системою ІСОП показано на рис.7. В лівій частині вікна введено значення метрик для проекту 1 (таблиця 2), у правій частині вікна - сформовано висновки системи (таблиця 3).

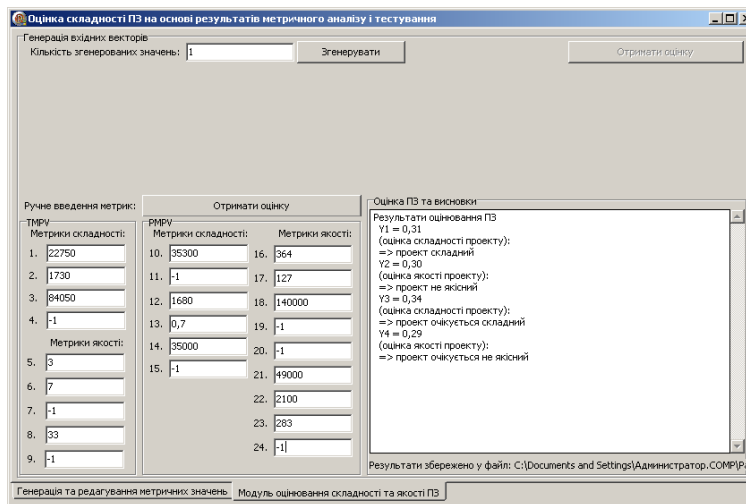


Рис.7. Інтерфейсне вікно з введеними значеннями метрик для проекту 1 та згенерованими системою висновками

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-Електронік" м.Хмельницького, вартість розроблення яких становить відповідно 100000 і 105000 гривень, тривалість розроблення - відповідно 250 та 260 робочих днів. Отже, обидва проекти мають приблизно однакові вартість та час розроблення, але ІСОП надає для них суттєво різні оцінки складності проекту (0,85 і 0,22 відповідно) та якості проекту (0,86 і 0,25 відповідно) і суттєво різні прогнози щодо складності розроблюваного ПЗ (0,81 і 0,28 відповідно) та якості розроблюваного ПЗ (0,87 і 0,27 відповідно). Очевидно, що на основі лише вартості та часу розроблення софтверна організація може прийняти хибний висновок щодо вибору варіанту реалізації проекту, і саме висновки ІСОП допоможуть замовнику зробити вірний вибір проекту.

### Висновки

У статті розроблено структуру та реалізовано інтелектуальну систему оцінювання і прогнозування складності та якості програмного забезпечення (ІСОП), яка надає оцінки, що характеризують етап проектування, який здійснюється конкретним розробником, і прогнозовані оцінки складності та якості розроблюваного ПЗ за результатами етапу проектування.

Одержані оцінки результатів проектування дають дані замовнику для вибору проекту необхідного ПЗ та дозволяють порівняти між собою різні версії проекту, тобто 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 і розроблюваного програмного забезпечення.

### Література

1. ISO 9001:1994 Quality Systems - Model For Quality Assurance In Design, Development, Production, Installation And Servicing
2. ISO 8402:1994 Quality Management And Quality Assurance
3. IEEE Standard Glossary Of Software Engineering Terminology /IEEE STD 610.12-1990
4. Липаев В.В. Выбор и оценивание характеристик качества программных средств: методы и стандарты - М.: Синтег, 2001 - 224 с.
5. Поморова О.В., Говорущенко Т.О., Онищук О.С. Оцінювання результатів проектування та прогнозування характеристик якості програмного забезпечення // Вісник Хмельницького національного університету – Хмельницький: ХНУ, 2011. - №2

**Рецензент:** Поморова Оксана Вікторівна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри системного програмування Хмельницького національного університету