

Макарова Л. М.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Латанська Л. О.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Семенчук І. М.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ СКЛАДНОСТІ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ 2D ІГОР НА ОСНОВІ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ КЛАСАМИ

Щороку на рушії Unity розробляється велика кількість ігор, яка постійно зростає. Понад 50 % всіх мобільних ігор розробляються на цьому рушії, а загальна кількість нових ігор на різних платформах може сягати тисяч. На Unity виходить від 6000 до 10 000 ігор щороку тільки на платформі Steam. Якщо врахувати мобільні платформи, наприклад, App Store та Google Play, інді-ігри та менші платформи, ця цифра значно зростає і може перевищувати 20 000–30 000 нових ігор щороку.

Оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування (ООП) є ключовим аспектом у галузі розробки програмного забезпечення, оскільки рівень складності архітектури має вагомий вплив на якість та ефективність продукту в майбутньому. Невірна оцінка складності проектування може призвести до ускладнень, пов'язаних із додатковими витратами, проблемами у підтримці, модифікації та масштабуванні продукту.

Метою роботи є підвищення достовірності оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування на основі аналізу зв'язків між класами 2D ігор з відкритим кодом, створених на ігровому рушії Unity.

Для розв'язання поставленої задачі було застосовано методи теорії ймовірності, математичної статистики та багатовимірного статистичного аналізу.

Завданням дослідження є розробка математичної моделі для оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування через зв'язки між класами 2D ігор, розроблених на рушії Unity, аналіз зв'язків між метриками RFC та CBO з врахуванням їхньої кореляції та створення програмного забезпечення для реалізації цієї моделі.

За результатами роботи було удосконалено рівняння еліпсу передбачення метрик RFC та CBO для оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування через зв'язки між класами 2D ігор, розроблених на рушії Unity на основі нормалізуючого перетворення у формі десятикового логарифму із врахуванням викидів у даних та врахування кореляції між метриками RFC та CBO, що дозволяє підвищити достовірність оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування через зв'язки між класами 2D ігор, розроблених на рушії Unity.

Ключові слова: об'єктно-орієнтоване проектування, оцінювання складності проектування, зв'язки між класами, еліпс передбачення, 2D ігри, Unity.

Постановка проблеми. Сучасна індустрія розробки ігор стикається з викликами, пов'язаними із складністю об'єктно-орієнтованого проектування. Оцінювання складності через зв'язки між класами є важливим аспектом, оскільки воно безпосередньо впливає на подальші витрати та ефективність підтримки, оновлення ПЗ. Відомо, що метрики ПЗ, такі як CBO (Coupling Between Objects) та RFC (Response for Class), можуть слугувати інструментами для такого оцінювання [1]. Однак традиційний аналіз цих метрик зазвичай

виконується окремо, без урахування їхньої кореляції на рівні проекту. Відповідно до [2] рекомендоване значення RFC має складати від 0 до 50, високе значення RFC ускладнює тестування, клас стає складним для розуміння. Рекомендоване значення CBO від 1 до 5 [3], якщо значення CBO перевищує 14 – це свідчить про надмірну зв'язаність, що є показником невдалої архітектури [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вряді робіт [5–7] було запропоновано підхід для визначення складності об'єктно-орієнтованого проекту-

вання через зв'язки між класами на основі еліпсу передбачення для нормалізованих метрик RFC та CBO, зокрема, в роботі [5] – на рівні застосунку для проектів з відкритим кодом на Java, в роботі [6] – для перевірки взаємозв'язків між частинами Java-застосунків, в роботі [7] – для оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування через зв'язки між класами комп'ютерних ігор.

Проте, в парадигмі розробки ігор високі значення метрик RFC і CBO, які значно перевищують рекомендовані значення є частим явищем, значення RFC для певних класів може дорівнювати сотням, а CBO – десяткам. Тому розробка математичної моделі, яка дозволить оцінювати складність об'єктно-орієнтованого проектування через зв'язки між класами 2D ігор, розроблених на рушії Unity, за значеннями метрик FRC і CBO з урахуванням їх кореляції на рівні застосунку є актуальною.

Постановка завдання. Метою роботи є підвищення достовірності оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування на основі аналізу зв'язків між класами 2D ігор з відкритим кодом, створених на ігровому рушії Unity.

Завданням дослідження є розробка математичної моделі для оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування через зв'язки між класами 2D ігор, розроблених на рушії Unity, аналіз зв'язків між метриками RFC та CBO з врахуванням їхньої кореляції та створення програмного забезпечення для реалізації цієї моделі.

Збір метрик програм, що використовують 2D графічний рушій Unity, та попередня обробка даних були виконані в роботі [8]; для оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування через зв'язки між класами 2D ігор було використано підхід оснований на побудові еліпсу передбачення для нормалізованих метрик RFC та CBO, який було представлено в ряді робіт [5–7].

Для досягнення поставленої мети роботи необхідно виконати наступні завдання:

- провести дослідження існуючих моделей для оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування через зв'язки між класами у 2D іграх, зокрема, розроблених на рушії Unity;
- виконати побудову математичної моделі для оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування через зв'язки між класами 2D ігор, розроблених на рушії Unity, з використанням нормалізуючого перетворення;
- перевірити якість побудованої математичної моделі шляхом її валідації (тестування) на

незалежних проектах, які не використовувалися при побудові моделі.

Виклад основного матеріалу. Перевірка багатовимірної нормальності полягає в тому, щоб перевірити, чи багатовимірна асиметрія та ексцес узгоджуються з багатовимірним нормальним розподілом [9]. Для вибірки $X_1, X_2, \dots, X_n$, що складається з $1 \times k$ векторів:

$$\beta_{1,k} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n m_{ij}^3, \quad (1)$$

$$\beta_{2,k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_{ii}^2, \quad (2)$$

$$\text{де: } m_{ij} = (X_i - \bar{X})^T S^{-1} (X_j - \bar{X}), \quad S = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})(X_j - \bar{X})^T.$$

Фактично використовуються вибіркові значення асиметрії та ексцесу, які отримуються шляхом множення значення багатовимірних асиметрії і ексцесу, описаних вище, на $(n/(n-1))^3$ та $(n/(n-1))^2$ відповідно.

Якщо вибірка походить із багатовимірного нормального розподілу, тоді:

$$\frac{n}{6} \beta_{1,k} \sim \chi^2(df), \quad (3)$$

$$[\beta_{2,k} - k(k+2)] \sqrt{\frac{n}{8k(k+2)}} \sim N(0,1),$$

де: a – рівень значущості, k – розмірність, df – параметр можна розрахувати за формулою:

$$df = \frac{k(k+1)(k+2)}{6}.$$

Критичне значення для багатовимірної асиметрії може бути отримане з формули (3):

$$\beta_{1,critical} = \chi_{a, df}^2. \quad (4)$$

Для багатовимірного ексцесу існує 2 кордони, нижній та верхній, які розраховуються за наступними формулами [10]:

$$\beta_{2,lower} = E[\beta_2] - z_a \cdot o'[\beta_2], \quad (5)$$

$$\beta_{2,upper} = E[\beta_2] + z_a \cdot o'[\beta_2], \quad (6)$$

де: $E[\beta_2] = k(k+2)$, $o'[\beta_2] = \sqrt{\frac{8k(k+2)}{n}}$, $z_a = \Phi^{-1}(1 - a/2)$.

Практично доведено, якщо дані мають багатовимірний нормальний розподіл, то розподіл квадрату відстані Махаланобіса поводить як розподіл χ^2 . Для великих вибірок даних, відстань

d_i^2 повинна вести себе приблизно як незалежні випадкові величини $\chi_{m,a}^2$. Тут $\chi_{m,a}^2$ – це квантиль розподілу χ^2 з рівнем значущості a . Якщо значення величини квадрату відстані Махаланобіса для певної пари даних більше за квантиль розподілу χ^2 , то такі значення розглядаються як викиди і відкидаються. Цей процес повторюється доки всі значення квадрату Махаланобіса не будуть меншими чи дорівнювати квантилю розподілу χ^2 .

Значення квадрату відстані Махаланобіса для кожної багатовимірної точки даних $i, i = 1, 2, \dots, N$, визначається як:

$$d_i^2 = (Z - \bar{Z})^T S_N^{-1} (Z - \bar{Z}), \quad (7)$$

де: $\bar{Z}$ – вектор вибірових середніх, S_N – вибірова коваріаційна матриця:

$$S_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z_i - \bar{Z})(Z_i - \bar{Z})^T, \quad (8)$$

де: Z_i – гаусівський випадковий вектор $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_m\}^T$ для кожної багатовимірної точки даних $i, i = 1, 2, \dots, N, m$ – кількість компонентів вектору Z .

Вектор Z отримують шляхом перетворення негаусівського випадкового вектору $X = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}^T$ за допомогою нормалізуючого перетворення десяткового логарифма:

$$Z_i = LG(X_i). \quad (9)$$

Для десяткового логарифму формула оберненого перетворення матиме вигляд:

$$X_i = 10^{Z_i}. \quad (10)$$

Рівняння еліпсу передбачення для нормалізованих даних визначається як [11]:

$$(Z - \bar{Z})^T S_N^{-1} (Z - \bar{Z}) = \frac{2(N^2 - 1)}{N(N - 2)} F_{2, N-2, a}, \quad (11)$$

де Z – це гаусівський випадковий вектор, $Z = \{Z_1, Z_2\}^T$, $\bar{Z}$ – вектор вибірових середніх, $\bar{Z} = \{\bar{Z}_1, \bar{Z}_2\}$, N – кількість точкових даних (в нашому випадку $N = 33$), $F_{2, N-2, a}$ – квантиль F розподілу з 2 та $N - 2$ ступенями вільності, a – рівень значущості, S_N – вибірова коваріаційна матриця.

Ліва частина рівняння (11) є квадратом відстані Махаланобіса. Відповідно до [12], тестова статистика для квадрату відстані Махаланобіса d_i^2 може бути розрахована наступним чином:

$$\frac{N(N - 2)d_i^2}{2(N^2 - 1)}, \quad (12)$$

яка має F розподіл з 2 та $N - 2$ ступенями свободи.

Для побудови математичної моделі для оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування через зв'язки між класами 2D ігор, розроблених на рушії Unity, була використана вибірка двовимірних негаусівських даних, а саме значення метрики RFC на рівні всього застосунку, та значення метрики СВО на рівні всього застосунку з 50 проєктів 2D ігор, розроблених на рушії Unity.

Виконавши оцінку за критерієм Мардіа за формулами (1), (2), було зроблено висновок, що двовимірний розподіл даних не є гаусівським. За рівня значущості $a = 0,005$ розраховане значення асиметрії $\beta_{1,2} = 57,08$, відповідно до формули (4) критичне значення $\beta_{1,2,0.005,50} = 14,86$. Розраховане значення ексцесу $\beta_{2,2} = 21,52$, відповідно до формули (5) нижня критична межа для ексцесу $\beta_{2,2,0.005,50,lower} = 4,76$, а верхня межа, розрахована за формулою (6), $\beta_{2,2,0.005,50,upper} = 11,24$. Отримані значення асиметрії і ексцесу значно більші за критичні значення, й розподіл суттєво відрізняється від нормального. Тому для виявлення викидів у даних використовуємо метод, оснований на нормалізуючих перетвореннях і квадраті відстані Махаланобіса.

Для подальшого аналізу треба виконати нормалізацію зібраних даних за допомогою десяткового логарифму за формулою (9) та видалити викиди за допомогою квадрату відстані Махаланобіса за формулою (7).

Нормалізовані дані метрик RFC, СВО та значення квадрату відстані Махаланобіса представлені у таблиці 1.

Для рівня значимості 0,005 максимальне значення χ^2 становить 10,6. Виходячи з цього, видаляємо набори з найбільшим значенням d_i^2 , які більші за 10,6. На першій ітерації було знайдено й видалено проєкт № 27, значення d_i^2 якого склало 24,442. На наступній ітерації було знайдено і видалено проєкт № 16, значення d_i^2 якого на другому етапі склало 10,62. На третій ітерації набору даних з значенням d_i^2 , більшим за максимальне значення χ^2 , знайдено не було, з чого можна зробити висновок, що викиди з вибірки успішно видалені.

Виконаємо тест Мардіа ще раз, для перевірки нормальності розподілу отриманого набору даних. Розраховане значення асиметрії $\beta_{1,2} = 0,92$, що менше за критичне значення $\beta_{1,2,0.005,48} = 14,86$. Розраховане значення ексцесу $\beta_{2,2} = 9,39$, отримане значення знаходиться в проміжку між нижнім і верхнім критичним значенням ексцесу [4,76; 11, 24]. Отже, отримані значення асиметрії та ексцесу відповідають нормальному розподілу при

Таблиця 1

Значення нормалізованих метрик RFC та CBO та квадрату відстані Махаланобіса

№	LG(RFC)	LG(CBO)	d_i^2	№	LG(RFC)	LG(CBO)	d_i^2
1	0,7844	-0,5836	2,7818	26	0,8788	-0,2478	1,5063
2	1,1409	-0,3010	0,3803	27	1,4634	1,4634	24,4420
3	1,0132	-0,3358	0,4671	28	1,3064	0,0348	0,4735
4	1,1736	-0,0286	0,0820	29	0,7677	-0,2430	3,2571
5	1,1644	-0,0969	0,0069	30	0,9360	-0,6214	2,1543
6	1,0614	-0,2846	0,2412	31	1,2888	0,0146	0,3721
7	1,4771	-0,0872	2,7813	32	1,3262	0,1600	0,8186
8	1,0719	-0,2218	0,1249	33	1,3090	-0,0314	0,5064
9	1,1206	-0,0177	0,2326	34	1,2900	-0,3010	1,5216
10	1,2163	-0,1383	0,1531	35	0,9196	-0,0263	2,0842
11	1,0940	-0,3802	0,6299	36	1,2820	0,0580	0,3932
12	0,7924	-0,6990	3,3461	37	0,7469	-0,4771	3,0263
13	1,2216	0,1850	0,8883	38	1,1663	0,1829	1,1070
14	1,0604	-0,2171	0,1507	39	1,3424	0,0378	0,7028
15	1,0719	-0,3979	0,6787	40	1,1065	-0,2553	0,1529
16	1,8808	0,3590	10,2872	41	1,6510	0,0726	5,4122
17	0,9461	-0,3522	0,8107	42	1,2394	0,0272	0,2243
18	0,9379	-0,3222	0,8380	43	0,9938	-0,1727	0,5367
19	0,8391	-0,1139	2,7562	44	1,5359	-0,1532	4,4731
20	1,3526	0,0452	0,7785	45	1,2041	0,0669	0,3240
21	0,8921	-0,3979	1,2753	46	1,2124	-0,1597	0,1816
22	1,2054	0,0307	0,2059	47	1,1983	-0,1047	0,0530
23	1,1292	0,0774	0,6202	48	1,0592	0,0621	1,0366
24	1,1441	0,2711	2,0590	49	0,8285	-0,8016	4,0635
25	1,3546	-0,6021	6,3277	50	1,2377	-0,1461	0,2732

рівні значущості $\alpha = 0,005$. За наведеним результатом можна зробити висновок, що отриманий набір даних не відхиляється суттєво від двовимірного нормального розподілу.

Дані, наведені у таблиці 1, були використані для побудови рівняння еліпсу передбачення для оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування через зв'язки між класами 2D ігор, розроблених на рушії Unity, за формулою (12). Коваріаційна матриця S_N , згідно з (8), має вигляд:

$$S_N = \begin{pmatrix} 0,0047 & 0,0308 \\ 0,0308 & 0,0613 \end{pmatrix}.$$

Для цієї матриці обернена матриця є наступною:

$$S_N^{-1} = \begin{pmatrix} 31,7496 & -15,9632 \\ -15,9632 & 24,3419 \end{pmatrix}.$$

Вектор випадкових середніх $\bar{Z}$ має вигляд: $\bar{Z} = \{1,1219; -0,1614\}$. Рівень значущості α приймаємо на рівні 0,005.

Тестову статистику (12) було використано для побудови рівняння еліпса передбачення для нормалізованих даних метрик RFC і CBO. Побу-

дований еліпс передбачення представлений на рисунку 1.

Відповідно до [13], трансформований еліпс передбачення може бути отриманий на основі побудованого еліпсу передбачення для нормалізованих даних з використанням оберненого перетворення за формулою (10).

Використаємо цю функцію до еліпсу передбачення для нормалізованих даних RFC та CBO, та побудуємо трансформований еліпс передбачення для метрик RFC та CBO для оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування 2D ігор на рушії Unity, який наведено на рисунку 2.

На рисунку 3 продемонстровано практичне використання отриманої моделі на прикладі 10 незалежних проектів, які не брали участі у побудові даної моделі. Дані метрик проектів вказані у таблиці 2.

За результатами тестування можна зробити висновок, що два проекти мають недосконалу архітектуру, а саме BulletRaid та Unity-Wander-In-Color-Game.

Висновки. В роботі було побудовано математичну модель для оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування через

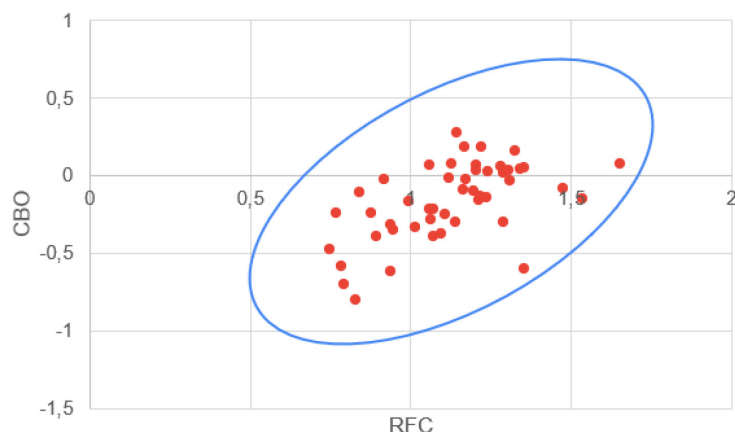


Рис. 1. Еліпс передбачення для нормалізованих метрик RFC та CBO

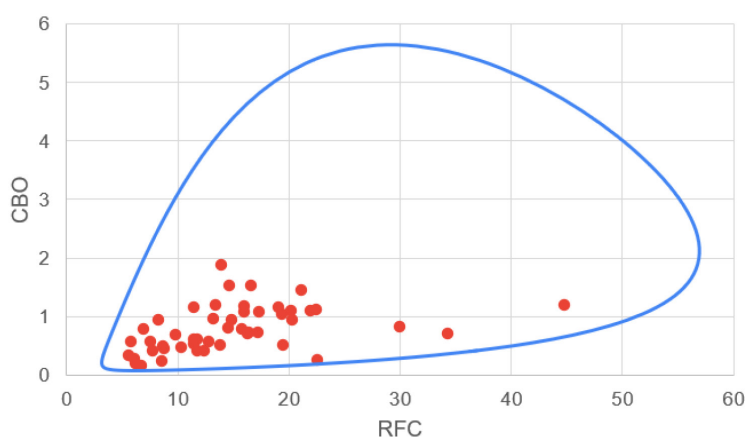


Рис. 2. Трансформований еліпс передбачення для метрик RFC та CBO

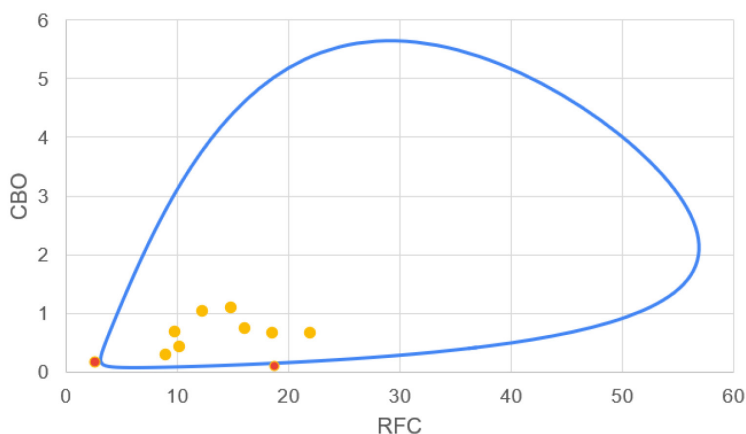


Рис. 3. Тестування моделі на даних реальних проєктів

зв'язки між класами 2D ігор, розроблених на рушії Unity, для чого:

- виконано перевірку багатовимірної нормальності за допомогою критерію Мардіа;
- виконано перевірку даних на наявність викидів за допомогою квадрату відстані Махаланобіса (SMD);
- здійснено побудову рівняння еліпсу передбачення для оцінювання складності об'єктно-

орієнтованого проектування через зв'язки між класами 2D ігор на рушії Unity для даних, нормалізованих за допомогою нормалізуючого перетворення натуральним логарифмом, та рівняння трансформованого еліпсу передбачення для оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування через зв'язки між класами 2D ігор на рушії Unity. Зазначене рівняння у порівнянні з існуючими математичними моделями враховує

Таблиця 2

Набір проектів для перевірки якості
побудованої моделі

Назва проєкту	RFC avg	CBO avg
2D-TowerDefense	16,1250	0,7500
FantasyTrip	10,2000	0,4223
BulletRaid	18,5556	0,6667
Faceless	22,0108	0,6559
Unity-Wander-In-Color-Game	2,6866	0,1493
Innerclash	9,7872	0,6809
Unfinished (business)	12,2941	1,0294
Ezra's Escape	14,9091	1,0909
Unity-2D-Game-Template	18,8000	0,0923
Glitch-Garden	9,0000	0,3000

як кореляцію між метриками RFC та CBO, так і те, що їх розподіл не є гаусівським;

– було перевірено практичне використання побудованої моделі на прикладі 10 проєктів, які не брали участі у побудові даної моделі.

Отримані результати свідчать про те, що для побудови рівняння трансформованого еліпсу передбачення для оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування через зв'язки між класами 2D ігор на рушії Unity, потрібно використовувати нормалізуючі перетворення з урахуванням викидів у даних. Це дозволяє підвищити достовірність оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування через зв'язки між класами 2D ігор на рушії Unity.

Список літератури:

1. Chidamber S., Kemerer C. A metrics suite for object oriented design. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 20(6). P. 476–493.
2. Response for Class (RFC). URL: <https://www.cachequality.com/docs/metrics/response-for-class> (дата звернення: 10.10.2024).
3. Sahraoui H.A., Godin R., Miceli T. Can metrics help to bridge the gap between the improvement of OO design quality and its automation? *Software Maintenance: 2000 International Conference (ICSM)*. San Jose, USA. P. 154–162.
4. Chidamber S., Kemerer C. Object-oriented metrics suite. URL: <https://www.aivosto.com/project/help/pm-oo-ck.htm> (дата звернення: 15.10.2024).
5. Prykhodko S., Prykhodko N. A Technique for Detecting Software Quality Based on the Confidence and Prediction Intervals of Nonlinear Regression for RFC Metric. *Computer Sciences and Information Technologies: 2022 IEEE 17th International Conference (CSIT-2022, Lviv, Ukraine)*. P. 499-502. DOI: <https://doi.org/10.1109/CSIT56902.2022.10000532>
6. Приходько С.Б., Смикодуб Т.Г. Математична модель для перевірки взаємозв'язків між частинами Java-застосунків за метриками RFC та CBO. *Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної інтернет конференції «Інформаційні технології: моделі, алгоритми, системи: (ITMAS – 2021)»*. Миколаїв, 2021. С. 25–26.
7. Папакін М.М., Приходько С.Б. Математична модель для оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування через зв'язки між класами комп'ютерних ігор та розробка програми для її реалізації. *Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної інтернет конференції «Інноваційні технології: моделі, алгоритми, системи (ITMAS-2024)»*. Миколаїв, 2022. С. 50–51.
8. Семенчук І.М., Макарова Л.М. Попередня обробка інформації для оцінювання складності розробки 2D ігор, що створювалися на ігровому рушії Unity. *Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці»*. Миколаїв, 2023. С. 467–469.
9. Zaiontz C. Real statistics using Excel. Multivariate Normality Testing (Mardia). URL: <https://real-statistics.com/multivariate-statistics/multivariate-normal-distribution/multivariate-normality-testing/> (дата звернення: 08.11.2024).
10. Wulandari D., Sutrisno, Bayu Nirwana M. Mardia's Skewness and Kurtosis for Assessing Normality Assumption in Multivariate Regression. *Enthusiastic international journal of statistics and data science*. 2021. vol. 1, issue 1. P. 1–6. URL: <https://journal.uui.ac.id/enthusiastic> (дата звернення 12.11.2024).
11. Chew V. Confidence, prediction and tolerance regions for the multivariate normal distribution. *Journal of the American Statistical Association*. 1966. vol. 61, issue 315. P. 605-617. URL: <https://doi.org/10.2307/2282774> (дата звернення: 20.11.2024).
12. Afifi A.A., Azen S.P. Statistical analysis: a computer-oriented approach. New York; London : Academic Press, 1972.
13. Приходько С.Б., Резниченко М.В. Математична модель для оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування через зв'язки між класами застосунків з відкритим кодом на Java. *Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної інтернет конференції «Інформаційні технології: моделі, алгоритми, системи: (ITMAS-2022)»*. Миколаїв, 2022. С. 6–7.

Makarova L. M., Latanska L. O., Semenchuk I. M. MATHEMATICAL MODELING FOR ASSESSING THE COMPLEXITY OF OBJECT-ORIENTED DESIGN IN 2D GAMES BASED ON CLASS INTERRELATIONSHIPS

Every year, a significant number of games are developed using the Unity engine, and this number continues to grow. Over 50 % of all mobile games are created on this engine, and the total number of new games across different platforms can reach thousands. On Steam alone, Unity accounts for 6,000 to 10,000 new games annually. When considering mobile platforms such as the App Store and Google Play, as well as indie games and smaller platforms, this figure increases significantly and may exceed 20,000–30,000 new games per year.

Assessing the complexity of object-oriented design (OOD) is a key aspect of software development, as the complexity of an architecture significantly impacts the quality and efficiency of a product in the future. An inaccurate assessment of design complexity can lead to challenges related to additional costs, maintenance issues, modifications, and product scalability.

The aim of this study is to improve the accuracy of object-oriented design complexity assessment based on the analysis of class interrelationships in open-source 2D games developed using the Unity game engine.

To achieve this goal, methods of probability theory, mathematical statistics, and multivariate statistical analysis were applied.

The research objectives include the development of a mathematical model for evaluating the complexity of object-oriented design based on class interrelationships in 2D games created on the Unity engine, an analysis of the relationships between the RFC and CBO metrics considering their correlation, and the creation of software to implement this model.

As a result of this study, the prediction ellipse equation for the RFC and CBO metrics was refined to assess object-oriented design complexity based on class interrelationships in 2D games developed on the Unity engine. This refinement was achieved using a normalization transformation in the form of a decimal logarithm, taking into account data outliers and the correlation between RFC and CBO metrics. The proposed approach enhances the reliability of object-oriented design complexity assessment based on class interrelationships in Unity-based 2D games.

Key words: *object-oriented design, design complexity assessment, class interrelationships, prediction ellipse, 2D games, Unity.*