

**Рувінська В.М.**

Національний університет «Одеська політехніка»

**Тройніна А.С.**

Національний університет «Одеська політехніка»

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ (МЕТОДИКА) РОЗРОБКИ НАВЧАЛЬНИХ КОМБІНАТОРНИХ ІГОР: ПЕРШІ КРОКИ

Робота присвячена створенню комп'ютерних навчальних комбінаторних ігор; до їх числа відносяться як ігри з високою комбінаторною складністю: шахи, шашки, Го, так і більш прості ігри: «Хрестики-нулики», «НІМ», «Дати» та інші. В наш час розроблені програмні системи лише для найбільш популярних комбінаторних ігор, а також існуючі рішення з інтеграції навчального процесу в ігровий контекст, як правило, обмежені можливістю застосування в одному продукті і не можуть бути напряму перенесені на розробку нових. У зв'язку з цим в роботі запропонована узагальнена методика (ІТ) розробки систем для навчання простим комбінаторним іграм на прикладі «НІМ» «НІМ з обмеженнями» і «Дати». Запропонована методика передбачає чотири етапи: 1) формулюються вимоги до системи за допомогою узагальнених діаграм прецедентів, дизайн-документу, MDA-структури; 2) на етапі проектування створюється узагальнена схема алгоритму комбінаторної гри, проектується сховище даних для збереження результатів проведених ігор з метою аналізу успішності навчання, проводиться архітектурне проектування у вигляді узагальненої діаграми компонентів, проектування узагальненого інтерфейсу користувача у вигляді прототипів для вікон; проектування конкретних комбінаторних ігор на базі узагальнених підходів; 3) на етапі реалізації проводиться створення гри відповідно до проектних рішень; 4) на етапі тестування – аналіз гри на предмет відповідності вимогам. Докладно описані початкові етапи створеної технології, а саме, аналіз вимог за допомогою узагальнених діаграм прецедентів та дизайн-документу, а також такі етапи проектування, як узагальнені схема алгоритму гри, діаграма компонентів та прототип вікна для основної сцени гри.

**Ключові слова:** методика розробки комп'ютерних навчальних комбінаторних ігор, математична теорія комбінаторних ігор, «НІМ», «Дати».

**Постановка проблеми.** Зараз в процесі навчання активно впроваджуються комп'ютерні технології, застосовувані для передачі учневі навчального матеріалу та контролю ступеня його засвоєння [1]. За останні роки з'явилася досить велика кількість навчальних систем, в тому числі, і автоматизованих, які охоплюють різні предметні області і покликані вирішувати завдання з навчання на різних етапах життя людини. В іграх застосовуються наступні переваги сучасних комп'ютерних засобів: швидкість, автоматизація рутинних обчислень, зберігання великих об'ємів інформації; точність дій, наочність представленої інформації; здатність до виконання логічних операцій, можливість діалогового режиму роботи, імітація зовнішніх впливів.

Теорія комбінаторних ігор – область математики, що активно розвивається в даний час і ставить метою дослідження комбінаторними методами математичних ігор [2, с. І-3–І-5]. До їх числа відносяться як ігри з високою комбінаторною

складністю: шахи, шашки, Го, так і більш прості ігри: «Хрестики-нулики», «НІМ», «Дати» та інші [3].

Вчені постійно розробляють і пропонують до впровадження нові, більш досконалі методи, що дозволяють істотно підвищити якість і інтенсифікувати процес навчання. Однак існуючі рішення з інтеграції навчального процесу в ігровий контекст, як правило, обмежені можливістю застосування в одному продукті і не можуть бути напряму перенесені на розробку нових продуктів.

Тому актуальним напрямком є розробка узагальнюючих підходів для створення навчальних систем для деяких предметних областей. У зв'язку з цим в роботі запропонована узагальнена методика розробки системи для навчання простим комбінаторним іграм на прикладі ігор «НІМ» [4, с. 2–7] і «Дати» [5].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теорія комбінаторних ігор – це математична теорія, що вивчає ігри двох сторін, в яких в кожний

момент часу є позиція, яку гравці по черзі змінюють певним чином або ходом, щоб досягти певної умови перемоги [6, с. 3–8]. В цій теорії не вивчаються ігри, які зв'язані з випадковостями, тобто включають ігри з випадковими ходами (ігри в кості чи карточні ігри), а тільки ігри, в яких позиція і всі можливі ходи однаково відомі обом гравцям. В комбінаторних іграх не допускаються одночасні і таємні ходи.

Комбінаторна гра – це гра, в якій присутні: два гравці; множина можливих позицій гри (зазвичай скінченна); правила гри, що визначають для кожної позиції та кожного гравця множину дозволених ходів; гравці ходять по черзі; обидва гравці знають всі ходи, зроблені у грі; при досягненні позиції, в якій для гравця немає можливих ходів, гра закінчується [7, с. 1–2]. Наступні правила також застосовують в комбінаторних іграх: виграє гравець, що зробив останній хід; або гра закінчується за скінченне число ходів. Якщо виграє гравець, що зробив останній хід, то така гра називається нормальною, інакше – мізер. Умова закінчення гри виключає ситуації, коли фіксується нічия. Також немає відмінностей між гравцями, тобто в кожній позиції обидва гравці мають однакові можливі ходи (так звана, неупереджена гра). Множина позицій гри зазвичай кінцева, але нерідко зустрічаються ігри з нескінченною кількістю позицій. Комбінаторна гра – це гра з повною інформацією, тобто кожен гравець повністю володіє всією інформацією про поточну позицію гри, про всі попередні позиції, про всі зроблені ходи. В цій роботі розглядаються неупереджені нормальні ігри зі скінченною кількістю позицій. Комбінаторних ігор існує досить велика кількість, нижче наведені деякі з них [8, с. 14–15].

«НІМ» – одна з найстаріших комбінаторних ігор. Окрім того, «НІМ» – фундамент, на якому будується математична теорія комбінаторних ігор [9]. Два гравці по черзі беруть предмети з купок. Позиція гри може містити довільне число купок та предметів, а також формується вона до початку гри. За один хід гравець може взяти будь-яку кількість предметів з будь-якої купки: навіть всю купку повністю, але хоча б один предмет необхідно взяти, і брати предмети потрібно з однієї купки. Гравець, що взяв останній предмет – перемагає.

«НІМ з обмеженнями». У грі НІМ за один хід можна було брати будь-яку ненульову кількість предметів з однієї купки. Тепер нехай за один хід можна брати не будь-яку кількість предметів, а, наприклад, 3 або 5. Гра змінилась незначно, проте рішення, що було застосоване до класичного НІМ,

вже не працює. Теорія Шпрага-Гранді дозволяє звести нову гру до класичного НІМ.

Гра «Дати». Грають двоє. На вході задається якась дата. Кожен гравець на своєму ході називає пізнішу дату, збільшуючи на 1 або 2 або день у місяці, або місяць, але не те й інше відразу. При цьому поєднання дня та місяця має залишатися датою. Гравець, який не може зробити хід, програє. Обидва гравці грають якнайкраще. Виходячи із зазначеної дати, вивести, хто виграє. Наприклад, якщо на вході дата 30.12, то перший гравець почне ходити, і він може збільшити початкову дату тільки на 1 день. Таким чином, він одержує 31.12, тому виграє, бо другий гравець вже не зможе ходити, тобто програє.

В наш час розроблені програмні системи лише для найбільш популярних комбінаторних ігор. Основні особливості таких ігор – це можливість вибору рівня гри, наявність системи підказок, аналіз, зберігання та експорт/імпорт партій, ведення статистики ігор, налаштування інтерфейсу програми, а також додавання свого контенту. Існує ряд програм, які реалізують гру «НІМ», тобто користувач може грати з комп'ютером, проте на цьому функціонал подібних ігор закінчується. Аналоги демонструють підхід до навчання та засоби розвитку і контролю навичок гри користувача. Але вони не торкаються саме комбінаторної теорії ігор. І що важливо, оскільки ігри, що розглядаються, відносяться до одного класу, то вони мають набір спільних характеристик, тому і розробка таких ігор має спільні особливості, в тому числі, і на етапі проектування та реалізації програмної системи, що дозволяє створити універсальну методику розробки подібних навчальних комбінаторних ігор.

**Метою дослідження** є розробка узагальненої методики створення комп'ютерних навчальних комбінаторних ігор, що спрощує подальшу розробку.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В роботі представлені ідеї щодо узагальненої інформаційної технології (методики) розробки різних навчальних комбінаторних ігор; об'єднання комбінаторних ігор в одній методиці розробки можливе за рахунок того, що комбінаторні ігри мають схожі правила та умови гри, які представлені вище. Методика дозволяє скоротити час на розробку ігор за рахунок використання узагальнених алгоритмів гри, структури програмної системи гри, макетів інтерфейсу, тощо. Маючи такі загальні властивості, комбінаторні ігри дають можливість і їх створювати схожим чином.

Нижче представлена *узагальнена методика (IT) розробки комп'ютерних комбінаторних ігор*.

1. На етапі *аналізу вимог* проводиться дослідження комбінаторних ігор взагалі, формулюються вимоги до системи за допомогою:

- *узагальненої діаграми прецедентів* (рис. 1);
- *дизайн-документу* (детальний опис представлено нижче);
- *MDA-структури*.

2. На етапі *проектування* розробляється проектна документація, а саме:

- створюється *узагальнена схема алгоритму комбінаторної гри* (рис. 2);
- проектується *сховище даних* для збереження результатів проведених ігор, які можуть бути використані під час аналізу успішності навчання;
- проводиться *архітектурне проектування* у вигляді узагальненої діаграми компонентів (рис. 3);
- *проектування узагальненого інтерфейсу користувача* у вигляді прототипів для вікон (рис. 4);
- *проектування конкретних комбінаторних ігор* на базі узагальнених елементів, вказаних в п. 2 вище.

3. На етапі *реалізації* – створення гри відповідно до проектних рішень.

4. На етапі *тестування* – аналіз гри на предмет відповідності вимогам.

Далі детально розглянемо *основні етапи* представленої *методики*, більшою мірою *початкові*.

1.1. *Діаграма прецедентів* визначає, як буде працювати з будь-якою навчальною комбінаторною грою користувач, тобто функції системи,

а саме, реєстрація, авторизація, вибір гри та її параметрів, сама гра та навчання теорії гри, перегляд результатів, кращих гравців, тощо.

1.2. В *дизайн-документі* гри описуються правила і особливості, і таким чином геймдизайнер виробляє цілісне бачення гри [10, с. 38–41]. Нижче представлені створенні узагальнені структурні елементи для опису вимог.

*Схема гри*. Ігровий процес полягає в тому, що гравець повинен робити ходи на ігровому полі та чергувати ходи з програмною системою для досягнення перемоги. Для комбінаторних ігор, зокрема, в грі «НІМ» під ходами мається на увазі вилучення ігрових об'єктів, зокрема у нашій грі «НІМ» – це рибки, з ігрового поля, у будь-якій кількості, лише з однієї купки, представленої рядком. Для «НІМ з обмеженнями» можна брати лише певну кількість (кількості) предметів, що задається заздалегідь, також лише з одного ряду. Рибки розташовані в декілька рядів від 2 до 5. Перемога досягається, коли в опонента немає можливості походити. Для ретроспективного аналізу, зокрема у грі «Дати», задається певна дата і кожен гравець збільшує на 1 або 2 день або місяць, але не те і інше водночас. Гравець, що не може зробити хід, програє.

*Сюжет*. Подія гри розгортається на локації в вигаданому світі, подібному людському, наприклад, біля озера, але в якості людей виступають ігрові персонажі, наприклад, коти. Початок гри презентується вступним роликem, що складається з розкадровки у вигляді коміксу. Кот йде на риболовлю, ловить рибу з містка і по дорозі додому



Рис. 1. Діаграма прецедентів для навчальних комбінаторних ігор

зустрічає іншого kota, який також збирається додому. Наш кіт вирішує поговорити з ним і в ході розмови пропонує зіграти в комбінаторну гру. За умовою що той, хто виграє, забирає весь улов, а той, хто програв залишається з нічим. Далі безпосередньо починається гра з виграшною позицією для нашого kota. Ходи підсвічуються, і гравець повинен ходити саме як показано. Отже, він перемагає і щасливий йде з подвійним уловом додому. Далі система розповідає про основні елементи інтерфейсу, включаючи меню, і акцент ставиться на навчанні, яке дозволить граючі вигравати.

*Інтерфейс користувача.* Усе управління відбувається за допомогою миші або Touchpad. На клавіатурі тільки клавіша «Esc» для виходу з кожної сцени і стрілки вправо-вліво для переходу назад або вперед по етапам навчання.

Першим, що бачить гравець – це меню зпектами: «Гра», «Навчання», «Тренування», «Статистика» і «Вихід», а також іконки-кнопки «Реєстрація» і «Авторизація» користувача для статистики ігор та тренувань.

Інтерфейс гри складається з ігрового поля, ігрових об'єктів, за допомогою яких відбувається гра, їх можна видаляти тільки з одного із рядків і тільки потрібну гравцеві і можливу (згідно правил) кількість. Кнопка для завершення свого ходу і передачі ходу опонентів розташована праворуч посередині. Іконки з попередніми ходами розташовані зліва від ігрового поля, при наведенні курсора миші на які з'являтиметься відповідний стан гри. Кнопка з можливістю поставити гру на паузу в правому верхньому куті. При натисканні на кнопку паузи виводиться вікно з можливістю вийти з гри або продовжити гру. В правому нижньому кутку розташувати блокнот з можливістю проводити підрахунки в двійковій системі для визначення виграшної стратегії.

Вікно вибору налаштувань гри містить поля для визначення параметрів. Однаковими для всіх ігор є такі параметри: складність гри та власник першого ходу. Вони розміщуються першими у переліку параметрів гри. Складність гри може приймати наступні значення: легка, середня, складна. В якості власника першого ходу користувач може обрати себе, віддати перший хід системі або визначається випадково, хто буде ходити першим. Далі слідує унікальний набір параметрів, що відноситься до конкретної гри. У вікні параметрів слід реалізувати список, який випадає для вибору значення з перелічування, наприклад, для вибору складності. Для зміни числових значень слід організувати поле для вводу числа або кнопки для

переходу на інше число. Також у вікні повинна міститись кнопка початку гри.

У режимі навчання є пункти меню, які потрібно в певній послідовності пройти: «Теоретичні відомості», «Ретроспективний аналіз», «НІМ», «НІМ з обмеженнями», «Дати». Для нового користувача доступно тільки два пункти, решта будуть відкриватися в міру проходження попередніх. У навчальній грі інтерфейс схожий зі звичайною грою, на різних етапах з'являються підказки, кнопки для вибору наступних дій, поля для вводу, щоб навчальній системі «стало відомо», що гравцеві зрозуміло, чому і як відбувається та чи інша дія. При невдачах повертаємо гравця до попереднього етапу.

*Ігрова механіка.* Для ігрових об'єктів треба обробляти натискання на них за допомогою миші або Touchpad і відтворювати анімацію, яка буде вказувати що вони вибрані. Лапа kota повинна взаємодіяти з об'єктами (у вигляді рибок), і при торканні вони зникають. Після кожного ходу треба створювати стан гри і виводити в поле з іконкою «минулих ходів», що розташовано зліва від ігрового поля. При наведенні миші або Touchpad-а на іконку має бути показано стан, який був на той момент гри. Забрані рибки повинні відрізнитися по гамі від тих, що залишалися. При відведенні миші або Touchpad-а з іконки повертати гру у поточний стан. Виводити текст навчання в спеціальному вікні, імітуючи мовлення ігрового персонажа, який навчає, і представлений він у вигляді іконки з зображенням kota. По кнопках «Кінець ходу», «Пауза» і «Блокнот», а також пунктах меню обробляється подія натискання миші і викликаються відповідні сцени, вікна або дії. При натисканні на кнопку «Вихід» закривати гру.

*Програмні механізми і алгоритми.* Основним механізмом виступає взаємодія 2D-об'єктів між собою та їх реагування на дії користувача через інтерфейс вводу – комп'ютерну миш або Touchpad. Програмна система виступає, по-перше, в якості суперника в грі і має 3 рівня складності: легкий, середній, складний, а по-друге, в якості вчителя та помічника.

Алгоритм визначення дій програмної системи відповідно вибраній складності: на третьому рівні система завжди робить оптимальний хід, на другому та третьому – хід не завжди оптимальний, в середньому на другому рівні – кожен третій оптимальний, на третьому рівні – кожен сьомий. Алгоритм знаходження XOR-суми: у циклі робимо XOR усіх купок, що не є пустими. Алгоритм визначення правильного ходу комп'ютера:

знаходимо купку, у якій старша одиниця співпадає по місцю зі старшою одиницею визначеної XOR-суми усіх купок; робимо операцію XOR між нею і XOR-сумою усіх купок; результат – кількість рибок, що треба залишити в знайденій купці.

**Графіка.** У грі повністю будемо використовувати 2D-графіка з елементами анімації і текстового подання інформації. Стилiстика гри – під піксельну казуальну гру. Текст, персонажі, меню, основна ігрова сцена – у піксельній графіці. Атмосфера гри повинна емоційно чіпляти гравця, щоб йому хотілося грати в гру і навчитися виграшній стратегії. Палітра основної сцени приємна і в одній гамі, сцена з меню і вікнами сувора і чітко виражена. Колір тексту чітко видно на фоні. Анімація: вступний ролик, анімовані рибки, анімовані лапи котів, анімований процес навчання.

**Звуки і музика.** Музика вступного ролика повинна відповідати сюжету гри; при перегляді меню – легка музика; під час гри – легкі звуки природи біля озера; коли вибираємо рибок, спрацьовує звук плескоту риби; звукові доріжки в кінці гри сигналізують про перемогу або поразку.

2.1. Узагальнену схему алгоритму для комбінаторної гри можливо побудувати завдяки наявності загальних правил для такого роду ігор, що представлені вище (рис. 2).

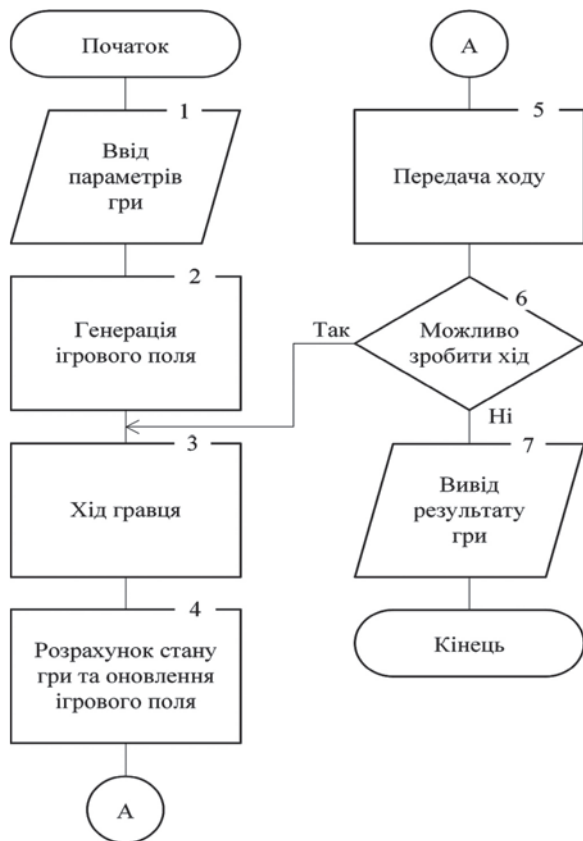


Рис. 2. Схема алгоритму для комбінаторних ігор

2.2. Архітектуру програмної системи для гри (рис. 3) зручно розділити на компоненти, що відповідають за роботу з даними та організацію ігрового процесу.

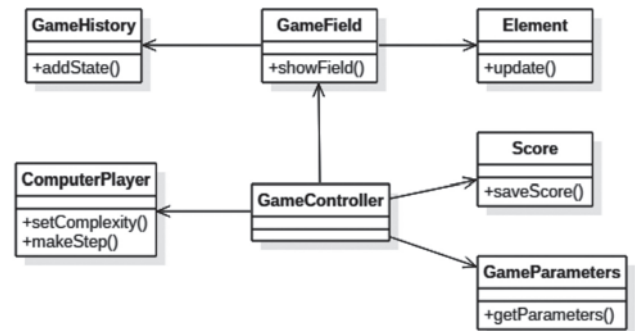


Рис. 3. Узагальнена діаграма класів для комбінаторних ігор

Основний компонент GameController організовує розрахунки та слідкує за циклом гри; GameField відповідає за відображення ігрового поля, що заповнене об'єктами класу Element; Element представляє взаємодію ігрових об'єктів з користувачем; GameParameters має обов'язковий параметр зі значенням складності гри; ComputerPlayer відповідає за розрахунок ходу комп'ютера і залежить від складності гри; Score організує збереження результатів завершеної партії; GameHistory відповідає за збереження позицій гри після кожного ходу.

2.3. На етапі проектування інтерфейсу користувача розробнику необхідно зробити прототипи всіх вікон, зокрема, сцену самої гри (рис. 4).



Рис. 4. Інтерфейс сцени гри

У центрі сцени розміщується область ігрового поля, де система генерує ігрові об'єкти, з якими взаємодіє користувач. Для ігор «НІМ» цими об'єктами будуть виступати предмети, розділені на декілька рядів, для гри «Дати» – комірки, позначені датами. У лівій частині знаходиться

## Загальні відомості для запропонованих навчальних комбінаторних ігор

Характеристики	Клас	Підклас
Аудиторія гравців	Вік > 11 Тип = загальний	–
Призначення гри	Гра як трансляція освітнього повідомлення	–
Ринок збуту	Розвага, освіта	–
Цілі гравця	Потреба гравця в дії, інформації	Навчання, розгадування загадок, планування подальших дій
Наявність ігрового сюжету	Ludology-game [6]	–
Кількість гравців	Гра для одного гравця	–
Засіб передачі ходу між гравцями	Гра реального часу	–
Інтерфейс користувача з отримання ігрової інформації	2D-графіка	–
Інтерфейс користувача при передачі даних до гри	Штучний інтерфейс, Механічний НСІ	Позиційний пристрій – маніпулятор типу «миша» або або Touchpad
Платформа запуску гри	Персональний комп'ютер з ОС, смартфони	–

панель для виводу попередніх ходів. Розробник повинен реалізувати почергове додавання попередніх позицій гри на панель та організувати їх збереження на час гри. У правій частині можуть бути розміщені такі елементи інтерфейсу: кнопка для відкриття вікна паузи, кнопка для відкриття правил гри, кнопка передачі ходу, поле з часом гри та інші інформаційні поля. Кнопка паузи розміщується у звичному для користувача місці – верхній правий кут.

**Висновки.** Створена узагальнена методика, тобто, інформаційна технологія розроблення навчальних програмних комбінаторних ігор із чотирьох пунктів та семи підпунктів, що дозволяє

проходити всі кроки при розробці такого роду ігор схожим чином і зменшувати необхідні ресурси на всіх етапах. В табл. 1 представлено загальні характеристики для запропонованих навчальних комбінаторних ігор.

Далі в ході наступних досліджень треба конкретизувати ще один пункт для етапу аналізу вимог, а саме, MDA-структуру; один пункт в проектуванні, а саме, як необхідно виконувати кожний етап загальної методики при розробці конкретної навчальної комбінаторної гри. Також треба створити конкретні комбінаторні ігри та проаналізувати, чи значно запропонована технологія скоротила час на їх розробку.

## Список літератури:

1. Serious Game Classification – URL: <http://serious.gameclassification.com/>
2. Thomas S., Ferguson A. Course in Game Theory – 2020 – pp. 46
3. Crash Course on Combinatorial Game Theory for the Mathcamp 2019 Qualifying Quiz – URL: <https://www.mathcamp.org/files/yearly/2019/quiz/cgt.pdf>
4. Theory of Impartial Games. The Mathematics of Toys and Games – pp. 20 – URL: <http://web.mit.edu/sp.268/www/nim.pdf>
5. Гра «Дати» – URL: <https://www.eolymp.com/uk/problems/860>
6. John H., Peters A. K. Conway. On Numbers and Games. CRC Press; 2nd edition. – December 11, 2000 – pp. 242
7. Jennifer Yuan and Shreya Sinha. Game Theory – URL: [https://math.mit.edu/research/highschool/primes/circle/documents/2021/Yuan\\_Sinha.pdf](https://math.mit.edu/research/highschool/primes/circle/documents/2021/Yuan_Sinha.pdf)
8. Berlekamp E., Conway J., Guy R. Winning ways for your mathematical plays. 2nd edition. – ISBN 1-56881-130-6 (alk.paper) – 2001 – pp. 297
9. Exploring the Game of Nim. – URL: <https://iq.opengenus.org/game-of-nim/> (дата звернення 24.09.2023).
10. Лугова Т.А., Блажко О.А. Проектування комп'ютерних ігор для навчання: навчальний посібник. Одеса: ФОП «Побута». 2018. – с. 212. – URL: <https://bit.ly/3NPa0XZ> (дата звернення 24.09.2023).

**Ruvinska V.M., Troynina A.S. INFORMATION TECHNOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF TRAINING COMBINATOR GAMES: FIRST STEPS**

*The work is devoted to the creation of computer educational combinatorial games; they include games with high complexity: chess, checkers, Go, as well as simpler games: "Tic Tac Toe game", "NIM", "Dates" and others. Nowadays, software systems are developed only for the most popular combinatorial games, as well as existing solutions for integrating the learning process into the game context, as a rule, are limited to the possibility of application in one product and cannot be directly transferred to the development of new ones. The paper proposes a generalized information technology (IT) for educational systems developing on base of simple combinatorial games such as "NIM", "NIM with restrictions" and "Data" which also allow studying the theory of combinatorial games in parallel. The method involves four stages: 1) requirements for the system are formulated using generalized diagram of precedents, play-design document, MDA structure; 2) at the design stage, a generalized scheme of the algorithm for the combinatorial game is created, a data store is designed to save the results of the played games for the purpose of training success analysis, architectural design is carried out in the form of a generalized diagram of components, and the design of a generalized user interface in the form of prototypes for windows; design of specific combinatorial games based on generalized approaches; 3) at the stage of implementation, the games is created in accordance with project decisions; 4) at the testing stage analysis of the game for compliance with the requirements is conducting. The initial stages of the created technology are described in detail, namely, requirements analysis using a generalized case diagram and the play-design document, as well as design stages such as a generalized scheme of the game algorithm, the component diagram, and the window prototype for the main game scene.*

**Key words:** *technology for development of computer educational combinatorial games, mathematical theory of combinatorial games, "NIM", "Dates".*