МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Мелітопольський державний педагогічний університет
імені Богдана Хмельницького
Київський столичний університет імені Бориса Грінченка
Сілезька академія, Польща
Комунальний заклад «Професійно-технічне училище № 2»
Дніпровської міської ради

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ ТА НАУЦІ

Збірник наукових праць
IV МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

20 травня 2025 року

Запоріжжя, 2025

УДК 004:[378+001](062.552)

Рекомендовано до друку Вченою радою Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького
(протокол № 16 від 03.06.2025 р.)

Редакційна колегія:
Фалько Н. М. – доктор психологічних наук, доцент;
Осадча К. П.– доктор педагогічних наук, професор;
Круглик В. С. – доктор педагогічних наук, професор;
Полякова Л. І. – кандидат історичних наук, доцент;
Муртазієв Е. Г. – кандидат педагогічних наук, доцент;
Чорна А. В. – кандидат педагогічних наук, доцент;
Сіциліцин Ю. О. – доктор філософії, старший викладач.

Інформаційні технології в освіті та науці: Збірник наукових праць IV міжнародної науково-практичної конференції (Запоріжжя-Мелітополь, 20 травня 2025 р., МДПУ імені Богдана Хмельницького). Випуск 14. Запоріжжя: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2025. 576 с.

До збірника ввійшли матеріали, присвячені актуальним проблемам цифрової трансформації суспільства та окремих сфер його функціонування, а також інноваційного розвитку освіти. Збірник буде корисним науково-педагогічним працівникам, аспірантам та студентам.

У матеріалах конференції збережено орфографію та пунктуацію авторів. За достовірність та оригінальність матеріалу відповідальність покладається на авторів.

© Автори публікацій, 2025

ЗМІСТ

Секція І
ШЛЯХИ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ОСВІТИ: ТЕХНОЛОГІЇ, МЕТОДИКИ, РЕСУРСИ

Білокопитова М. О., Волобоєва А. О., Островська К. В.
Роль лінгвістичних додатків у викладанні іноземних мов 16

Борисенко О. М.
Професійна підготовка майбутніх фахівців, зокрема авіаційної галузі: сучасні тенденції та виклики 19

Владика В. С., Лобода Є. А.
Шляхи інноваційного розвитку освіти: технології, методики, ресурси 21

Гаркушка Д. Ю.
Інструменти STEM-технологій у професійній підготовці майбутніх педагогів професійного навчання 24

Гасанова Ш. І., Іванова Н. Г.
Логотип як полісеміотичний текст у цифровому лінгводидактичному просторі: освітній сайт з іспанської мови SPANISHBOOM.COM 29

Гузь А. М.
Вплив знань з безпеки життєдіяльності на психофізіологічну готовність курсантів до плавальної практики 33

Давидюк А. В.
Тренінг для педагогічних працівників ЗП(ПТ)О «Використання відкритого програмного забезпечення у професійно-технічній освіті» 36

Дерстуганова Н. В.
Гармонізація освітніх структур в Європі: досвід України в окресленні переліку загальних компетентностей 43

Євлах М. О.
Формування медіаграмотності в професійній підготовці цифрових технологів: світові підходи 47

Захарова К. Ф.
Інноваційні підходи до викладання дисципліни «Економічна демографія»: технології, методики, ресурси 52

Каркоцький І. О.
Методи формування в бакалаврів з професійної освіти здатності до застосування тренінгових технологій навчання 56

Качур А. Д.
Підходи до розробки індивідуальної освітньої траєкторії майбутнього фахівця..... 61

Комарницький К. С.
Аналіз засобів формування компетентності з кібернетичної безпеки, які можна використати під час навчання інженерів-програмістів 68

Конюхов С. Л., Крашеніннік І. В.
Методика колаборативного навчання баз даних у закладах вищої освіти 72

Коровець Х. І., Дем'янюк А. В.
Роль гри у розвитку дітей дошкільного віку.....79

Кумейко В. В.
Моделювання процесу впровадження інформаційно-комунікаційних технологій у змішане навчання для підвищення професійної компетентності ІТ-фахівців 82

Меркушева А. А.
Організація змішаного освітнього процесу з графічного дизайну з урахуванням стилів навчання студентів.....85

Міщенко І. Д.
Інтеграція наскрізної практичної підготовки бакалаврів з цифрових технологій у професійній освіті на засадах студентоцентрованого підходу.....89

Молчанова К. К., Лупаренко С. Є.
Вплив віртуального простору на формування англійського сленгу.....93

Мороз М. В.
Сучасні інструменти та стратегії для інноваційного розвитку освіти 96

Наумук І. М., Верчак О. Є.
Аналіз сучасних тенденцій у навчанні програмуванню в закладах загальної середньої освіти.....100

Омельченко П. С., Мірошниченко О. М.
Інноваційна діяльність сучасного педагога: формування нового освітнього середовища..... 104

Павлига П. Д.
Формування політики використання хмарних сервісів в навчальному процесі закладів вищої освіти України..... 107

Попова В. М.
Тренінг для формування емпатії та саморегуляції студентів через призму об'єктно-орієнтованого програмування..... 111

Розумейко Н. О.
Методика оцінювання навчальних досягнень бакалаврів спеціалізації «Цифрові технології» під час комплексного кваліфікаційного іспиту 115

Ройко Л. Л.
Використання комп'ютерного тестування при викладанні вищої математики 123

Сидорчук Р. Д.
Сучасні зарубіжні підходи до формування інформаційно-цифрової компетентності ІТ-фахівців через проектне навчання..... 127

Синеруб А. Ю., Дем'янюк А. В.
Модернізація дошкільної освіти: інноваційні підходи в умовах сьогодення..... 130

Соболев Д. О.
Формування здатності до професійної мобільності у здобувачів вищої освіти у процесі навчання програмування 133

Солошенко-Задніпровська Н. К.
Цифрова гейміфікація як тенденція розвитку іншомовної освіти..... 139

Староста В. І.
Академічне (не)дистанційне консультування: погляди учасників освітнього процесу 143

Стасюк Т. Є., Дем'янюк А. В.
Розвиток навичок предметно-практичної діяльності дітей дошкільного віку з особливими освітніми потребами в умовах інклюзивної групи закладу дошкільної освіти..... 150

Столяр Д. Б., Лаврів Л. П.
Використання штучного інтелекту для створення інтерактивних симуляційних сценаріїв 152

Цьомик В. С., Сидорак М. С., Білоус І. І.
Психоемоційне напруження серед працівників закладів початкової освіти: вплив на безпеку та профілактика 155

Устенко А. О.
Досвід застосування штучного інтелекту при вивченні вищої математики 158

Ушакова-Кирпач І. М., Клепачов В. С.
Особливості впливу hard та soft skills на розвиток підприємницьких навичок 163

Фалько О. М., Круглик В. С.
Методи формування в бакалаврів з професійної освіти готовності до застосування технологій навчання у співробітництві 166

Чихун В. А.
Зарубіжний досвід розробки гейміфікаційних стратегій у навчанні фахівців з цифрових технологій 171

Шапкін В. Є., Заздравнов А. А.
Дубайська декларація про відкриті освітні ресурси 2024 року та перспективи системи вищої освіти в Україні 175

Ярич І. Я.
Професійна освіта в умовах інноваційних викликів: перспективи та модернізація 179

Kuzmina I. Y., Kuzmina O. O.
Education as a strategic resource of innovative development of Ukrainian society 185

Matviienko L. H.
The use of open educational resources (OER) in the professional training of students 189

Oliinyk V. V.
Innovative teaching methods for student success 192

Секція ІІ
ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ СУСПІЛЬСТВА

Білоус С. О.
Електронні сервіси та системи для юристів в Україні 196

Гиренко В. В., Майданюк В. П
Веб-застосунок для криптографічного захисту файлів 200

Десятнюк Л. Б., Шубіна Л. Ю.
Базові концепції інформаційних технологій в медицині.....205

Дудкіна Ю. О.
Вплив інформаційно-комунікаційних технологій на електронні докази в цивільному процесі..... 208

Дьяковська Г. О., Алієва О. Г., Копійко С. С.
Цифрова трансформація суспільства: техніка як актант і мережеві агенти..... 213

Кудряшов А. Д.
Аналіз проблем формування особистих звичок та роль цифрових інструментів у їх подоланні (на прикладі веб-застосунку "Habits Tracker") 216

Кузнецова В. А.
Основні напрямки цифрової трансформації суспільства, її значення, досягнення та перспективи 220

Лучковська К. В.
Захист персональних даних в умовах цифрового суспільства 224

Мамиченко С. А.
Soft skills як запорука професійної майстерності педагога в умовах цифрових трансформацій.....228

Райковська І. Т.
Диджиталізація стратегічного аналізу: трансформація аналітичних процесів у цифрову епоху.....232

Романов Д. О.
Світовий досвід використання комп'ютерних тренажерів у кібербезпеці 236

Ткаченко В. В.
Інтелектуальне управління операціями – роль штучного інтелекту.....239

Ушакова-Кирпач І. М., Дідик В. А.
Краудфандинг як інструмент підтримки соціальних проєктів 242

Худолєй І. І.
Аналіз можливостей використання відкритих геоінформаційних сервісів (на прикладі OpenStreetMap).....245

Шишкіна О. В., Волошин Д.М., Малихін А. Г.
Роль фінансових посередників у створенні та впровадженні інноваційних фінансових продуктів в умовах цифровізації 249

Щерба В. В.
Цифрова трансформація правової системи вплив інформаційних технологій 253

Яремчук К. А.
Роль електронного судочинства в суспільних відносинах 257

Ярощук В. О., Крушинська А. В.
Кіберстрахування як інструмент фінансової безпеки в умовах цифровізації..... 261

Riepin O. V., Bykova T. A.
Augmented reality technologies as a transformative tool in tourism 266

Секція ІІІ
ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ ТА НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Адаменко В. О.
Сучасні вебсервіси для управління освітнім процесом: переваги та недоліки 270

Бикова Т. А.
Використання цифрових технологій для проєктування авіаційної техніки.....274

Боб О. В.
Системи автоматичної перевірки рішень у програмуванні: аналіз та вибір платформи для освітнього середовища 277

Богданова Н. Г.
Цифрова революція в освіті: як технології формують майбутнє науки..... 281

Веретюк Т. В.
Цифрова грамотність викладача-філолога в умовах трансформації освіти 284

Вінник О. М.
Створення інтерактивного онлайн-посібника для підготовки до єдиного вступного іспиту з англійської мови. Практичний досвід 289

Гандзюк О. М., Валецький Ю. М.
Цифрові технології в освіті та наукових дослідженнях: нові перспективи для комунікативної підготовки парамедиків і фармацевтів 293

Гнатюк С. М., Лупаренко С. Є.
Вплив сучасних інформаційно-комунікаційних технологій на освітній процес 297

Гуліч О. О.
Штучний інтелект у формуванні іншомовної компетентності: психолінгвістичний аспект 300

Євсєєв Т. Є., Аброскін Ю. Ю.
Розробка навчального модуля з елементами гейміфікації для вивчення методів шифрування..... 305

Зеленюк О. С., Іванова Н. Г.
Цифровізація мовної освіти: структура та стратегії розвитку youtube-каналу @ivanka.ispanka 308

Іванова Н. Г., Коптіна Д. В.
Інновації у викладанні іспанської мови для початківців: аналіз відеоуроку Youtube-каналу Іванка Іспанка..... 314

Кожевников П. П.
Використання цифрових технологій в процесі підготовки здобувачів спеціальності А5 «Професійна освіта» 318

Колесников К. В.
Кроки впровадження STEM-технології навчання для підготовки фахівців фізкультури і спорту 321

Коломоєць Ю. В., Ткачук В. В.
Напрями впровадження штучного інтелекту в контексті фахової передвищої освіти 326

Курепін В. М.
Цифрові технології у навчанні та наукових дослідженнях: виклики, перспективи, напрямки розвитку 328

Листопад О. А., Листопад Н. Л.
Хмарні платформи для зберігання та обробки науково-дослідної інформації..... 331

Лучко Ю. І.
Трансформація ролі викладача у вищій освіті в контексті впровадження штучного інтелекту 337

Мазур І.-С. В.
Роль інноваційних інструментів вебдизайну у професійній підготовці фахівців ІТ 341

Маловецька Н. Г.
Використання інструменту Exam.Net для підвищення якості та об'єктивності оцінювання 345

Мардарова І. К., Гуданич Н. М.
Інформаційно-комунікаційні технології як засіб формування валеологічної культури дітей дошкільного віку.....348

Наумук І. М.
Фактчекінг у наукових та технічних публікаціях 353

Недо А. О., Герасін О. С.
Огляд сучасних суднових роботів 357

Носова Н. І.
Можливості використання цифрових технологій та імплементації цифрових рішень в освітній процес й науково-дослідницьку діяльність на сучасному етапі технологічного розвитку в Україні 361

Одинцова Г. С.
Використання цифрових інструментів для створення текстів «нової природи».....364

Олійник В. В.
Проєктно-орієнтований підхід до навчання технології 3D-друку у професійно-технічній освіті 367

Пирх Є. О.
Використання віртуальних лабораторій у закладах професійної освіти 371

Роботько Д. О.
Вимоги до програмного забезпечення інформаційних систем управління знаннями 375

Романюк О. Н., Мазур В. В.
Роль конкурсів з веб-дизайну для студентів України 378

Романюк О. Н., Романюк О. В., Ковальова Ю. О.
Роль мистецьких компетенцій для студентів 382

Санін В. С.
Аналіз проблем цифровізації освіти та автоматизації діяльності закладу вищої освіти 388

Свинчук О. В., Котова А. А.
Програмне забезпечення для підвищення живучості підсистеми сонячних панелей системи генерації, розподілу та зберігання енергії 392

Свинчук О. В., Мангуплі Ю. Д.
Програмне забезпечення для підвищення живучості підсистеми акумуляторних батарей системи генерації, розподілу та зберігання енергії.....395

Свинчук О. В., Руденко О. С.
Програмне забезпечення для резервного копіювання даних системи генерації, розподілу та зберігання енергії на основі методів машинного навчання.....398

Свинчук О. В., Савчин А. Р.
Програмне забезпечення для підвищення функціональної стійкості гібридного інвертора та системи генерації, розподілу та зберігання енергії 401

Столяр Д. Б., Лаврів Л. П.
Застосування віртуальної та доповненої реальності для навчання медичних працівників у віддалених регіонах 404

Сторожук Ю. В.
Адаптивна генерація навантаження в тестуванні продуктивності програмного забезпечення 407

Харламова Л. Д.
Інтеграція технологій штучного інтелекту у процес навчання математики 410

Хижан А. О., Терещенко Н. Ю., Хижан О. І.
Цифрові інструменти обрахунку результатів хроматографічного аналізу 416

Храпач А. І.
Аналіз інструментів Google Workspace For Education для покращення процесів викладання та навчання..... 419

Циганенко Д. М.
Цифрові технології в освіті та наукових дослідженнях.....423

Четверик В. К.
Генеративний штучний інтелект у контексті навчання іноземних мов здобувачів ЗВО 428

Чорна А. В., Христовой Д. Ю.
Використання штучного інтелекту для автоматизації створення мультимедійного контенту.....433

Шикиринська О. В., Толстяк А. І.
Потенціал дидактичних комп'ютерних ігор у формуванні цифрового громадянства старших дошкільників.....438

Шубін Л. А.
Дослідження можливостей бібліотеки Opencv для цифрової обробки зображень в рамках дисципліни "Системи розпізнавання образів"..... 441

Шубна О. Ю.
Використання сучасних цифрових технологій для впровадження принципів професійної орієнтації в інженерному та графічному навчанні.....444

Ярич І. Я.
Технологія web-квесту як засіб розвитку фахової компетентності сучасного педагога закладу професійної освіти.....447

Ярощук В. О., Фасолько Т. М.
Розв'язання задач лінійного програмування із застосуванням програмного засобу Microsoft Excel.....452

Grod I. M.
Computer experiment as a tool for deepening knowledge of differential equations 457

Ivannikov T. O.
Leveraging cloud computing to advance scientific cooperation and higher education.....459

Ivanova R. Y.
Digital legal education and the role of international organizations in promoting rule of law through technological innovation..... 461

Lishchenko A.-M. L., Yuvkovetska Y. O.
Opportunities and challenges of using artificial intelligence in education: between automation and humanization of the learning process 464

Tverdokhliebova N. Y., Yevtushenko N. S.
Using digitalization tools in training specialists in the field of occupational safety 467

Zazdravnov A. A., Shapkin V. E.
Experience of using distance smart learning on electrocardiographic diagnostics for interns in the specialty "General Practice – Family Medicine" 471

Секція IV
АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ІТ-ГАЛУЗІ

Власов Д. О., Наумук О. В.
Розробка засобів визначення виробника мережного адаптера на основі MAC-адреси 475

Гайтан О. М., Фещенко Д. О.
Застосування штучного інтелекту в тестуванні програмного забезпечення 478

Герасименко Д. І., Наумук О. В.
Аналіз бібліотек для генерації синтетичних даних на мові Python 482

Древинський В. В.
Розробка програмного забезпечення системи корпоративних комунікацій з використанням блокчейн технології 486

Золотарьов П. Р.
Розробка та дослідження роботи фреймворку автоматизованого тестування в галузі освіти і дошкільного навчання 488

Зорін Н. О., Терейковська Л. О.
Семантична сегментація об’єктів будівництва 491

Малярчук М. П.
Spark як засіб ефективної обробки Big Data 494

Масьома В. Т.
Безпека даних: хмарні сховища, кібератаки та захист даних 497

Наумук О. В.
Протоколи безпеки в сучасних комп'ютерних мережах: VPN, IPSEC, SSL/TLS 501

Наумук О. В., Колінько П. О.
Аналіз трендів у дизайні UI: як фронтенд адаптується до сучасних вимог 505

Пронченко А. В., Наумук О. В.
CSS-фреймворки: аналіз підходів розробки на Bootstrap і Tailwind 509

Прус Б. В.
Життєвий цикл розробки мобільної системи для інтелектуального агрегування медіаконтенту 512

Прус О. В., Коваленко О. О., Майданюк В. П.
Моделювання й впровадження оптимізації продуктивності на етапах життєвого циклу багатопроєктного середовища 515

Романенко С. О.
Шляхи покращення продуктивності систем реального часу шляхом оптимізації алгоритмів паралельної обробки на гетерогенних обчислювальних середовищ 524

Романюк О. Н., Завальнюк Є. К., Бобко О. Л.
Напрямки підвищення продуктивності та реалістичності формування тривимірних графічних зображень 528

Романюк О. Н., Майданюк В. П., Нечипорук М. Л.
Особливості шифрування графічних зображень 533

Романюк О. Н., Майданюк В. П., Романюк О. В.
Аналіз сучасних архітектур GPU 538

Романюк О. Н., Майданюк В. П., Романюк О. В., Новосельцев О. О., Мельник А. В.
Використанням паралаксного текстурування для підвищення реалістичності формування тривимірних зображень 543

Романюк О. Н., Романюк О. В.
Перспективні напрями розвитку розподілених баз даних 551

Рягузов О. О.
Розробка модуля Transaction & Log Analytics: досвід виробничої практики 554

Ткачук В. І., Майданюк В. П.
Налаштування Windows з використанням системного реєстру 557

Форкерт П. П.
Універсальний синтаксис виклику функцій в діалекті мови програмування GO 561

Шевченко І. В.
Узгодженість даних: strong vs eventual consistency 565

Haitan O., Chebotariov O.
Developing an adaptive pfm tool for Ukrainian users: the case of Grosholiub.....569

Voloboieva A. O., Ivashchenko D. O.
English at international tech conferences: opportunities and challenges for non-philological majors in esp contexts 571

ВИКОРИСТАННЯМ ПАРАЛАКСНОГО ТЕКСТУРУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РЕАЛІСТИЧНОСТІ ФОРМУВАННЯ ТРИВИМІРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Романюк Олександр Никифорович
Д.т.н., професор кафедри програмного забезпечення
Вінницький національний технічний університет

Майданюк Володимир Павлович
К.т.н., доцент кафедри програмного забезпечення
Вінницький національний технічний університет

Романюк Оксана Володимирівна
К.т.н., доцент кафедри програмного забезпечення
Вінницький національний технічний університет

Новосельцев Олександр Олександрович
аспірант
Вінницький національний технічний університет

Мельник Анастасія Володимирівна
студентка
Вінницький національний технічний університет

Анотація. *Розглянуто питання модифікації Parallax Mapping з метою підвищення реалістичності формування тривимірних зображень. Розглянуто питання реалізації паралаксного текстурування в графічних відео картах.*

Using parallax texturing to increase the realism of forming three-dimensional images. *Parallax Mapping to increase the realism of three-dimensional image formation. The issue of implementing parallax texturing in graphics video cards is considered.*

Модифіковані методи паралаксного текстурування [1, с.45-47] (Parallax Mapping) є вдосконаленням базового мотоду, який дозволяє створювати ілюзію глибини на площинній геометрії за допомогою висотної карти. Класичний Parallax Mapping [2, с. 276] полягає у зміщенні текстурних координат залежно від кута огляду та значення висоти в текстурі, що створює ефект "занурення" поверхневих деталей. Проте базовий метод має низку недоліків, таких як відсутність

самооклюзії, зсуву силуетів та спотворення при великих кутах огляду. Щоб подолати ці проблеми, було розроблено кілька модифікацій.

Одним із найпростіших удосконалень є Offset Limiting Parallax Mapping [6, с. 900-911], який обмежує максимальне зміщення текстурних координат, щоб уникнути візуальних артефактів. Це дозволяє зберігати стабільність зображення навіть при різкому зміненні кута спостереження, хоча й не додає суттєвого реалізму. Наступним кроком є Steep Parallax Mapping (SPM), який реалізує ітеративний пошук точки перетину променя з висотною поверхнею. Він створює ефект справжньої рельєфності, оскільки крок за кроком зменшує похибку визначення правильного положення текстурної координати.

Ще точнішим є Parallax Occlusion Mapping (POM) 2 [3, с. 86], який базується на трасуванні променя через віртуальний об'єм, сформований висотною картою. Він дозволяє враховувати самооклюзії — ситуації, коли виступаючі частини текстури затінюють нижчі ділянки. У процесі реалізації POM спочатку виконується грубий пошук перетину променя з поверхнею, а потім застосовується лінійна або інтерполяційна корекція для точного знаходження текстурної координати. Цей метод значно покращує реалістичність зображення, особливо при невеликих кутах між напрямком огляду та нормаллю поверхні.

Для ще точнішої візуалізації застосовують Relief Mapping [3, с. 91], який, на відміну від POM, також відтворює зміни силуетів при крайовому огляді. Цей метод дозволяє отримати зображення, максимально наближене до справжньої геометричної деталізації, однак є дуже ресурсомістким. З метою оптимізації розроблено Cone Step Mapping [4, с. 1-14], який замість крокового пересування використовує геометричні властивості конуса видимості, щоб передбачити глибину занурення променя. Завдяки цьому суттєво знижується кількість ітерацій, і метод стає придатним до використання навіть у реальному часі.

Також варто згадати Interval Mapping, що вдосконалює точність пошуку перетину за допомогою методів бісекції — поступового уточнення проміжку, в якому міститься перетин променя з висотою. Це дозволяє уникнути стрибків у зображенні, які іноді трапляються при застосуванні грубих POM. Ще одним важливим напрямком є Contact-

aware Parallax Mapping, який дозволяє коректно відображати місця контакту між об’єктами сцени та поверхнею з паралаксною текстурою.

Для оптимізації продуктивності було запропоновано Dynamic Level of Detail Parallax [2. с. 276-279], який змінює кількість ітерацій або точність залежно від відстані до камери або кута огляду. Поблизу камера бачить більше деталей — отже, метод виконує більше обчислень, тоді як у віддалених частинах сцени застосовується спрощений варіант, що дозволяє зменшити навантаження на GPU без суттєвої втрати якості.

Таким чином, модифіковані методи паралаксного текстурування забезпечують широкий спектр можливостей для відтворення псевдооб'ємних структур поверхні без необхідності збільшення геометричної складності сцени. Вибір конкретного методу залежить від балансу між необхідною якістю зображення та доступними обчислювальними ресурсами.

Окремо заслуговує уваги метод Self-Shadowed Parallax Mapping (SSPM) [7, с.133-154]. Цей підхід є розширенням POM і включає динамічне обчислення тіней, які падають на частини текстури внаслідок локального рельєфу. Він базується на модифікації напрямку освітлення, який проєктується через глибину в текстурі, з використанням тих самих висотних даних, що й для відображення рельєфу. У підсумку створюється ефект самозатінення — глибші ділянки текстури знаходяться у тіні, що значно підвищує реалістичність без додаткових карт тіней.

Ще одним вдосконаленням є Horizon-Based Parallax Mapping [5, с.144-167], який використовує горизонтальні межі рельєфу для обчислення точного місця перетину променя з псевдооб’ємною структурою. На відміну від POM, який працює здебільшого по вертикалі, цей метод дозволяє враховувати вплив напрямку світла у площині текстури, що особливо ефективно при рендерингу складних візерунків, таких як плитка, тріщини або борозни.

У практичних реалізаціях часто застосовують Hybrid Techniques, які поєднують декілька підходів. Наприклад, на близькій відстані може використовуватись Relief Mapping для максимальної деталізації, тоді як для середньої та дальньої дистанції – більш легкі POM або навіть Bump Mapping. Перемикання між цими режимами виконується динамічно залежно від відстані до фрагмента, що дозволяє зберігати продуктивність без суттєвої втрати візуальної якості.

У сучасних рушіях, таких як Unreal Engine 5, реалізовано кастомізовані варіанти POM з підтримкою Virtual Texturing, що дозволяє застосовувати дуже детальні висотні карти без значного використання відеопам'яті. Це важливо, коли сцена містить кілька об'єктів з унікальними висотними картами. У поєднанні з Virtual Shadow Maps та Screen Space Global Illumination (SSGI) ці методи забезпечують реалістичну поведінку світла на рельєфних поверхнях.

З апаратної точки зору, реалізація більшості вдосконалених паралаксних методів потребує підтримки фрагментних рейдерів з гнучкою обробкою умов, циклів та точних обчислень дотичних координат. Важливою є підтримка depth-aware sampling, яка забезпечується в API, таких як DirectX 11/12 або Vulkan. Зокрема, методи POM і Relief Mapping добре масштабуються на сучасних GPU завдяки паралельній обробці пікселів, проте вони стають обмеженням для старих мобільних або вбудованих систем, де краще використовувати спрощені варіанти, наприклад, Steep Parallax із фіксованою кількістю кроків.

У випадках, коли потрібне точне відображення силуетів, застосовують техніку Silhouette Clipping, яка поєднує геометричні мапи (наприклад, displacement map з tessellation) із паралаксним текстуруванням. Таким чином можливо уникнути візуального дисонансу між детальною центральною частиною текстури та її краями, які при великому нахилі камери часто виглядають неприродно плоскими.

Загалом, модифіковані методи паралаксного текстурування дозволяють досягти рівня реалізму, наближеного до повної геометричної деталізації, при цьому істотно знижуючи навантаження на систему за рахунок використання текстурних даних. Їх поєднання з алгоритмами динамічного освітлення, адаптивного згладжування та оклюзії навколишнього середовища відкриває широкі можливості для створення фотореалістичних візуалізацій у реальному часі.

Модифіковані методи паралаксного текстурування реалізуються на GPU за допомогою фрагментних (pixel) рейдерів [8, с. 46-47], які дозволяють на рівні кожного пікселя виконувати складні математичні операції з текстурними координатами, висотними картами, нормалями та напрямками погляду. Це означає, що вся обробка відбувається в графічному конвеєрі, зокрема на етапі фрагментного шейдингу [8, с. 46-47], що дозволяє досягати високої продуктивності завдяки масовому паралелізму обчислень.

Модифіковані методи паралаксного текстурування реалізуються на графічному процесорі (GPU) шляхом виконання обчислень у фрагментному шейдері, тобто на рівні обробки кожного окремого пікселя зображення. Усі ці методи базуються на використанні висотної карти (height map), яка зберігає інформацію про псевдо-рельєф поверхні. Основна ідея полягає в тому, щоб змістити текстурні координати кожного пікселя залежно від кута огляду, таким чином створюючи ілюзію глибини без фізичної геометричної деформації поверхні.

Для початку, у шейдері [8, с. 46-47]виконується обчислення напрямку погляду з точки зору камери до фрагмента поверхні, при цьому всі вектори перетворюються в тангентний простір за допомогою TBN-матриці (tangent, bitangent, normal). Це необхідно, оскільки паралаксне зміщення виконується в локальних координатах текстури, де вісь Z збігається з нормаллю поверхні. Далі вектор погляду нормалізується, і на його основі обчислюється зсув текстурних координат. У найпростішому варіанті (класичний Parallax Mapping) це зміщення виконується один раз, пропорційно висоті і куту огляду. Проте цей підхід дає лише базовий ефект і не враховує складних взаємодій з текстурним рельєфом.

У вдосконалених методах, таких як Steep Parallax Mapping чи Parallax Occlusion Mapping, використовується ітеративне трасування променя, яке дозволяє з високою точністю знайти точку перетину лінії погляду з псевдооб’ємною структурою, що представлена у висотній карті. Ітерації виконуються у циклі, де на кожному кроці обчислюється поточна текстурна координата та відповідне значення висоти. Промінь зміщується крок за кроком доти, доки не буде досягнуто перетин з поверхнею. Щойно знайдено діапазон, де значення висоти змінює знак, відбувається лінійна інтерполяція між цими точками для досягнення більшої точності. Це дозволяє отримати переконливу ілюзію глибини, навіть для складного рельєфу, і уникнути візуальних артефактів, які притаманні простим методам.

Додатковим ускладненням є реалізація самооклюзії — тіней, які утворюються на глибоких частинах текстури внаслідок перекриття виступаючими елементами. Для цього застосовується повторне трасування променя, але вже в напрямку джерела світла. Таким чином,

для кожного фрагмента виконується ще один прохід через висотну карту, що дозволяє визначити, чи фрагмент є відкритим для освітлення, чи перебуває в тіні. Це суттєво підвищує реалістичність зображення, але також збільшує обчислювальні витрати.

На сучасних GPU така обробка виконується в межах фрагментного шейдера, де обчислення для кожного пікселя виконуються паралельно. Для реалізації використовуються спеціальні функції вибірки з текстури, такі як texture(), tex2D() або їх розширені варіанти. У GLSL або HLSL доступні цикли, умовні оператори та можливість динамічно змінювати рівень деталізації (кількість кроків ітерацій), залежно від відстані до камери або кута огляду. Наприклад, коли камера розміщена далеко від поверхні або майже перпендикулярно, кількість ітерацій зменшується, що дозволяє економити ресурси без суттєвої втрати якості. Цей підхід реалізується як Dynamic Level of Detail Parallax.

Для подальшої оптимізації використовуються передобчислені карти конусів, які дозволяють уникнути багатьох ітерацій шляхом використання геометричних оцінок видимих ділянок. Також існують гібридні методи, які комбінують паралаксне текстурування з тесселяцією або displacement mapping, щоб забезпечити реалістичні силуети при крайових ракурсах.

Використання модифікованих паралаксних методів на GPU дозволяє досягти високоякісного зображення з імітацією складної геометрії без суттєвого збільшення кількості полігонів.

Одним із важливих аспектів успішної реалізації є правильне поєднання шейдерного коду з архітектурними можливостями графічного процесора. Під час виконання фрагментного шейдера на кожному пікселі GPU виконує одні й ті самі інструкції на великій кількості потоків, що дає змогу ефективно обробляти паралаксне зміщення навіть при великій кількості фрагментів.

Для зменшення навантаження активно використовується адаптивне зменшення точності.

Наприклад, кількість ітерацій трасування може змінюватися залежно від кута між напрямком погляду та нормаллю поверхні: чим гостріший кут, тим більше ітерацій потрібно для якісного результату. Натомість при прямому погляді паралакс практично не помітний, тож обчислення можна суттєво спростити. Така адаптація реалізується через просту формулу у фрагментному шейдері.

У методах на кшталт Relief Mapping або Cone Step Mapping часто використовуються допоміжні текстури — такі як нормалізовані карти глибини, похідні або навіть precomputed cone maps, які містять у кожному пікселі інформацію про максимальну глибину в певному напрямку. Це дозволяє замість покрокового пересування променя одразу зробити прогноз на відстань, на яку треба «зануритися» у висотну карту, що суттєво прискорює обчислення. Такі методи особливо добре підходять для платформ із обмеженими ресурсами — наприклад, ігрових консолей або мобільних GPU.

Ще один важливий аспект — правильна інтеграція паралаксного текстурування з іншими системами візуалізації, такими як освітлення, затінення та глобальна ілюмінація. У випадку використання методів на кшталт Self-Shadowed POM, потрібно враховувати не лише значення глибини, а й напрям світла. Це передбачає, що вектор освітлення також має бути перетворений у тангентний простір, а далі використаний для додаткового трасування — аналогічно до вектора погляду. Для кожного пікселя визначається, чи перекривається напрям світла поверхневими нерівностями, і відповідно до цього змінюється яскравість або колір фрагмента.

У сучасних ігрових рушіях, таких як Unreal Engine, Unity або CryEngine, подібні ефекти реалізуються за допомогою спеціальних матеріальних графів або шейдерних шаблонів. Наприклад, в Unreal Engine Parallax Occlusion Mapping може бути ввімкнено як частина матеріалу з увімкненням параметра Use heightmap as displacement, після чого розробник може задавати глибину, масштаб, кількість кроків тощо. При цьому рушій автоматично компілює необхідні HLSL-шейдери для цільової платформи. Також потрібно зазначити, що хоча паралаксне текстурування створює ілюзію глибини, насправді поверхня залишається геометрично плоскою. Це означає, що силуети об’єкта не змінюються. Щоб подолати цей недолік, у деяких випадках паралаксні методи поєднують із тесселяцією або геометричними displacement-методами. У такій гібридній схемі паралакс відповідає за центральну частину поверхні, а тесселяція — за зміну геометрії на краях, створюючи реалістичні обриси.

Підсумовуючи, реалізація модифікованих методів паралаксного текстурування на GPU вимагає глибокого розуміння шейдерного

програмування, обчислювальних обмежень, тангентного простору, алгоритмів трасування в текстурному просторі та методів оптимізації.

Найефективніші рішення досягаються за рахунок комбінування точних обчислень на близьких відстанях з приблизними методами на дальніх планах сцени, а також інтеграції з підсистемами освітлення, тіней і затінення.

Список використаних джерел

1. Романюк О. Н., Бобко О. Л., Романюк О. В. (2021). *Напрямки удосконалення методу Parallax Occlusion Mapping* // Комп'ютерні ігри та мультимедіа як інноваційний підхід до комунікації: матеріали конф. (Умань: УДПУ). С. 45–47.

2. Романюк О. Н., Завальнюк Є. К., Романюк О. В., Бобко О. Л. (2025). *Модифіковані методи паралаксмепінгу* // Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій: матеріали конф. (Одеса: ОНТУ). С. 276–279.

3. Tatarchuk, N. *Practical Parallax Occlusion Mapping with Soft Shadows for Detailed Surface Rendering*. In: *Advanced Real-Time Rendering in 3D Graphics and Games – SIGGRAPH 2006*. pp. 81–112.

4. Dammer, J. *Cone Step Mapping: An Iterative Ray-Heightfield Intersection Algorithm*. 2006. 14 p.

5. URL: http://www.lonesock.net/files/ConeStepMapping.pdf.

6. Eric Lengyel, *Foundations of Game Engine Development, Volume 2: Rendering*, CRC Press, 2019, ISBN 978-0-9858117-5-4, 412 p.

7. Yang, X., & Xu, Q. (2011). Improved Parallax Mapping Algorithm with Offset Limiting. *Journal of Computer Science and Technology*, 26(5), 900–911.

8. Brawley, Z., & Tatarchuk, N. (2004). Parallax Occlusion Mapping: Self-Shadowing, Perspective-Correct Bump Mapping Using Reverse Height Map Tracing. У W. Engel (ред.), *ShaderX3: Advanced Rendering with DirectX and OpenGL* (с. 135–154). Charles River Media.

9. Романюк О. Н., Станіславенко Є. Г., Шевченко О. О. Шейдерна технологія зафарбовування // *Матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Сучасні інформаційні системи та технології» за тематикою «Сучасні комп'ютерні системи та мережі в управлінні»*. – Херсон : 2023. – С. 46–47.

Наукове видання

Інформаційні технології в освіті та науці: Збірник наукових праць IV міжнародної науково-практичної конференції (Запоріжжя-Мелітополь, 20 травня 2025 р., МДПУ імені Богдана Хмельницького)

Відповідальний редактор	Круглик В.С.
Відповідальний секретар	Сіциліцин Ю.О.
Технічний редактор	Кожевников П.П.

вул. Наукового містечка, 59, м. Запоріжжя, Запорізька область, Україна, 69000

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького