



ТЕХНОЛОГІЯ-2025

МАТЕРІАЛИ

XXVIII міжнародної науково-технічної конференції

23 травня 2025 року

Київ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім. Володимира Даля
ANTALYA AKEV UNIVERSITY
TASHKENT INSTITUTE OF CHEMICAL TECHNOLOGY
ГРУПА КОМПАНІЙ «ПЛАЗМАТЕК»
ГО «ФУНДАЦІЯ «ПРОСТІР»
ГО "АСОЦІАЦІЯ ФАРМАЦЕВТІВ УКРАЇНИ"
ПрАТ „ХІМПРОЕКТ”
АНАЛІТИЧНИЙ ЦЕНТР СНУ імені Володимира Даля

ТЕХНОЛОГІЯ-2025

МАТЕРІАЛИ

XXVIII міжнародної науково-технічної конференції

23 травня 2025 року

м. Київ



Київ, 2025

Технологія-2025: матеріали міжн. наук.-практ. конф. 23 травня. 2025 р., м. Київ. / укладач Є. І. Зубцов – Київ : Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, 2025. – 287 с.

Редколегія: В.Ю. Тарасов, д.т.н., проф. (головний редактор); Є.А. Івченко, д.е.н., проф.; С.О. Кудрявцев, к.т.н., доц.; С.Л. Кузьміна, д.філос.н., доц.; С.В. Кузьменко, к.т.н., доц.; О.А. Цюк, д.с-г.н., проф.; Т.Г. Сотнікова, к.т.н., доц.

Адреса редколегії: Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, вул. Іоанна Павла II, 17, м. Київ, 01042. т.: (050)9045549

Редколегія може не поділяти погляди, викладені у збірнику. Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за їх зміст. Тези друкуються в авторській редакції.

Рекомендовано до друку Вченою радою факультету інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (Протокол № 10 від 30.05.2025 р.)

RUNOFF MANAGEMENT SYSTEMS WITH NEW PERSPECTIVES	
Blinova M.V., Kravchenko I.V.	15
ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ШВИДКОЇ МОДИ ТА БІОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ СТАЛОГО ТЕКСТИЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА	
Шустанова О.М., Кравченко І.В.	16
ІЗОТЕРМІЧНИЙ ПЕРЕРІЗ ПРИ 950°C ПІДСИСТЕМИ HfNi – Ni – TiNi	
Кравчук В.Ф., Сторчак А.М., Самелюк А.В., Буланова М.В.	18
ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСЧИВОСТІ І ФАЗОВІ РІВНОВАГИ В СПЛАВАХ СИСТЕМИ Al–Mg–Ge І ПОДВІЙНИХ ГРАНИЧНИХ ПІДСИСТЕМАХ	
Царюк Д.В., Носенко В.К., Носенко А.В., Кудін В.Г., Романова Л.О., Судавцова В.С.	20
ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСЧИВОСТІ РОЗПЛАВІВ І СПОЛУК СИСТЕМ Bi–Ln	
Шевчук В.А., Кудін В.Г., Романова Л.О., Подопрігора Н.В., Судавцова В.С.	22
ЕКОЛОГІЯ ТА ІНФОРМАТИКА: СИНЕРГІЯ ЗАДЛЯ СТАЛОГО МАЙБУТНЬОГО	
Середіна А.С., Біленко В.І.	24
ЦИРКУЛЯРНА ЕКОНОМІКА: НОВИЙ ПОГЛЯД НА СТАЛИЙ РОЗВИТОК	
Середіна А.С., Ткаченко І.В.	26
FAST FASHION: THE IMPACT ON THE ENVIRONMENT	
Shustanova O.M., Kravchenko I.V.	28
ЕКОЦИД, ЩО СУПРОВОДЖУЄ ВІЙНУ 2014-2025 РОКІВ В УКРАЇНІ	
Безрукова О. І., Золотарьова О. В.	30
ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСЧИВОСТІ РОЗПЛАВІВ СИСТЕМ Al–Dy(Tb)	
Кудін В.Г., Романова Л.О., Подопрігора Н.В., Іванов М.І., Судавцова В.С.	32
REGARDING THE IMPACT OF POULTRY FARMS ON THE ENVIRONMENT	
Sohina V.S., Kravchenko I.V.	33
ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF PETROLEUM DISPENSING FACILITIES	
Staduhina H.Ye., Kravchenko I.V.	35
КОМПЛЕКСНА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОД РІЧКИ ВЕРХНЯ БІЛЕНЬКА	
Зеленський М.М., Мохонько В.І.	36
ВОДА – ОСНОВА ЖИТТЯ НА ЗЕМЛІ ТА ГЛОБАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ	
Бакутін О.О., Кравченко І.В.	38
MICROBIAL BIOSOLUTIONS FOR SUSTAINABLE AQUACULTURE	
Dzhordzh I.E.V., Kravchenko I.V.	39
SWOT ANALYSIS OF PESTICIDE USE BY SMALL FARMS AND AGROHOLDINGS	
Sohina V.S., Kravchenko I.V.	42
РОЛЬ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ У РОЗВИТКУ СУЧАСНОГО РОСЛИННИЦТВА	
Моспанова О.А.	45
ФОРМУВАННЯ СТАЛОГО МИСЛЕННЯ НА ЗАНЯТТЯХ ФІЗИКИ	
Решітнік Ю.В., Ільніцька К.С.	47

ЕНЕРГІЯ НОВОГО ПОКОЛІННЯ: ОГЛЯД ПЕРСПЕКТИВ ШТУЧНОГО ЯДЕРНОГО СИНТЕЗУ	
Новіков В.М., Новікова С.Ю.....	48
MODERN METHODS OF MECHANICAL TREATMENT AND UTILIZATION OF SEWAGE SLUDGE	
Liashchenko O.A., Kravchenko I.V.....	50
ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ МЕХАНІЗМІВ ОСАДЖЕННЯ ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ ІОНІВ АМОНІЮ ЗІ СТІЧНИХ ВОД	
Лістрова Д.С., Золотарьова О.В.....	52
PHASE EQUILIBRIA IN THE Fe-25Al-Ti-C SYSTEM	
Fartushna I., Samelyuk A., Bulanova M.	53
ФАЗОВІ РІВНОВАГИ В СИСТЕМІ Al-Nd-Ni	
Фартушна Ю.В., Уткін С.В., Самелюк А.В., Судавцова В.С., Буланова М.В.	55
ОБМІН КАЛЬЦІЮ І ФОСФОРУ В КІСТКОВІЙ ТКАНИНІ ТВАРИН	
Кіральгазі М. М., Проказа Є. М.	57
ЗАСОБИ ЗАХИСТУ РОСЛИН В ОРГАНІЧНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ	
Р.В. Бондар, Г.О. Крикливцев	59
КОНТРОЛЬ БУР'ЯНІВ В ОРГАНІЧНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ	
Р.В. Бондар, І.І. Височин	61
ЦИФРОВІ КЛАСТЕРИ	
Романюк О.Н., Майданюк В.П., Рейда О.М., Ціхановська О.М.	63
ПРОГРАМНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У РАМКАХ ПІДГОТОВКИ ЗДОБУВАЧІВ ТЕХНІЧНОЇ ОСВІТИ	
Кислий Б. І., Жарікова І. В.	65
МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ОПЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМ	
Романюк О.Н., Майданюк В.П., Рейда О.М., Романюк О.В.....	67
АНАЛІЗ ВПЛИВУ ХАРАКТЕРУ ТА МАСШТАБУ ВІЙСЬКОВИХ РУЙНУВАНЬ НА СТАН ГОЛОВНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗОН МІСТ СХОДУ УКРАЇНИ	
Гігінеїшвілі К.В., Морозенко М.О., Швець В.В., Соколенко В. М.....	68
ОСОБЛИВОСТІ СКЛАДУ ТА ПЕРЕРОБКИ БУДІВЕЛЬНОГО СМІТТЯ, УТВОРЕНОГО ВНАСЛІДОК РУЙНУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ПІД ЧАС ВІЙНИ	
Швидкий Д.В., Швець В.В., Соколенко К. В.	70
ОСОБЛИВОСТІ АНТРОПОЛОГІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ ОБЛИЧЧЯ ЛЮДИНИ ЗА ТРИВИМІРНОЮ МОДЕЛЛЮ	
Романюк О.Н., Майданюк В.П., Мазур В.В., Тітова Н.В., Романюк С.О.	72
ІННОВАЦІЙНІ КОНЦЕПЦІЇ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ТА ДІДЖИТАЛІЗАЦІЇ В ОРГАНІЗАЦІЇ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	
Запара Я.В., Панченко В.К., Кузьміченко С.В.....	74
ВИЗНАЧЕННЯ ПОВЗДОВЖНЬОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ КАРКАСА КОНТЕЙНЕРА З РОЗКОСАМИ В КОНСТРУКЦІЇ	
Ловська А. О., Павлюченков М. В., Равлюк В. Г., Скуріхін Д. І., Рибін А. В.	75

АНАЛІЗ МІЦНОСТІ КАРКАСА КОНТЕЙНЕРА УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПРИ ВАНТАЖНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЯХ	
Ловська А. О., Павлюченков М. В.	77
INTERDEPENDENCE OF COAL POROSITY WITH METAMORPHIC TRANSFORMATIONS OF COAL SEAMS	
Rudniev Y.S., Popovych V.A.	78
ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАСОБІВ АВТОРИЗАЦІЇ ТА АВТЕНТИФІКАЦІЇ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ОРГАНІЗАЦІЄЮ	
Данилюк Б.А.	80
СУЧАСНІ МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ НАФТИ	
Макаров В. Д., Золотарьова О. В.	81
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНОЇ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ РЕАКТОРОМ ПОЛІМЕРИЗАЦІЇ НА ПРИКЛАДІ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІЕТИЛЕНУ	
Сафонов О.Д., Сотнікова Т.Г.	82
FLUTTER ЯК УНІВЕРСАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ КРОСПЛАТФОРМЕННОЇ РОЗРОБКИ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ	
Бабков А.С., Рудніченко М.Д.	83
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ У ТЕХНІЧНИХ ІТ-ПРОЄКТАХ	
Бобровник Д. В., Лифар В. О.	84
ПАРАМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИСКОВИХ ЗУБОРІЗНИХ ФРЕЗ В САД- СИСТЕМІ CREO PARAMETRICS	
Логунов О. М.	86
ОПТИМІЗАЦІЯ ВЕБРОЗРОБКИ	
Рюмін О.О., Тягунова М.Ю., к.т.н., доцент, Киричек Г.Г., к.т.н., доцент.....	87
ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ ІГОР	
Романюк О.Н., Майданюк В.П., Гайдей С.О., Тітова Н.В., Романюк С.О.	89
ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВАНТАЖІВОК І САМОКЕРОВАНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ У КОМЕРЦІЙНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ	
Ганжеєв Д.І., Акольцев М.Ю.	90
РОЛЬ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЗНОСОСТІЙКОСТІ МАШИНОБУДІВНИХ ВИРОБІВ	
Ніколаєнко А.П., Романченко О.В., Шумакова Т.О.	92
CURRENT TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF GRAIN TRANSPORTATION BY RAIL	
H.S. Baulina, Sputai I.P.	94
АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ МЕТРОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ТОВЩИНИ ПОКРИТТІВ	
Романченко Ю.А., Васюков В.С.	95
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	
Романченко Ю.А., Мордига В.О.	97

ПЕРСПЕКТИВИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІКИ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ЗМІШАНИХ КОРМІВ	
Коротов Ю.Ю., Курлов В.І.	99
ВИЛУЧЕННЯ МОНОСАХАРИДІВ З ЛІГНОЦЕЛЮЛОЗНОЇ БІОМАСИ	
Каленик В.В., Патрій Р.С., Корчуганова О.М., Любимова-Зінченко О.В.	100
ЗАСТОСУВАННЯМ ЗАХИСНИХ АНТИВІБРАЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ ТА МАТЕРІАЛІВ	
Фомін О.В., Козинка О.С.	101
ОЦІНКА СИСТЕМИ САМОРЯТУВАННЯ ПІДЗЕМНИХ РОБІТНИКІВ ПРИ ВЕДЕНІ ГІРНИЧИХ РОБІТ	
Борта О.М., Тарасов В.Ю.	103
SEWAGE SLUDGE UTILIZATION PATHWAYS: ENGINEERING PERSPECTIVE	
Holubtsov S.V., Kravchenko I.V.	105
ГІБРИДНИЙ МЕТОД ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО АНАЛІЗУ ДЕФЕКТІВ У КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛАХ	
Зінченко І.В., Рязанцев О.І.	108
СУЛЬФАТНА КИСЛОТА: ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ТА ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ГАЛУЗІ	
Дреєр О. В., Золотарьова О. В.	110
АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ АДАПТИВНОЇ ПОВЕДІНКИ АГЕНТІВ	
Дяченко О.О., Шпінарева І.М.	111
АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ АДАПТИВНОЇ ПОВЕДІНКИ АГЕНТІВ У ІНТЕРАКТИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ В КОНТЕКСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ ІГОР	
Дяченко О.О., Шпінарева І.М.	112
МОДЕЛІ, МЕТОДИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМИ ОПЕРАЦІЯМИ В МІЖНАРОДНИХ НЕРЕГУЛЯРНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ	
Кузін Ю.В., Лифар В.О.	113
АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ФІЛЬТРОМ-ПРЕСОМ У ВИРОБНИЦТВІ СОКІВ	
Канєв В. О., Лорія М. Г.	114
ПІДХОДИ ТА МЕТОДИ ЩОДО ЗАХИСТУ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ WINDOWS	
Терещенко Т.П., Терещенко К.В., Штонда Р.М., Черниш Ю.О., Ляшенко Г.Т.	115
ПОСІВ ТЕХНІЧНОЇ КОНОПЛИ В УМОВАХ СУЧАСНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА	
Кіральгазі І. І., Жмуренко М. А., Луганський П. М.	117
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЇХ ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ НА ВІДСТАНІ	
Гнибіда К.А., Вичужанін В.В.	119
УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ВОЛОГОГО ПРОСІЮВАННЯ ДРІБНОЇ РУДИ З ВИКОРИСТАННЯМ УЛЬТРАЗВУКУ	
Моркун В.С., Грищенко Я.О.	120
MORPHOLOGICAL ANALYSIS USING ISHIKAWA DIAGRAM IN CREATING AN IDEAL RAILWAY TRANSPORT VEHICLE	
Fomin O., Burlutskyi O., Burlutskyi D.	122

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВЕРШКОВО-ОЛИВКОВОГО СПРЕДУ З ВИКОРИСТАННЯМ СОКУ ГАРБУЗА ТА БУРЯКА	
Могутова В. Ф.	124
КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ МІЦНІСНИХ ПАРАМЕТРІВ НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ЗЕРНОВОЗА ДЛЯ КРАЇН ЄС	
Фомін О.В., Прокопенко П.М.	125
АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНИХ МЕТОДІВ ВИРОБНИЦТВА ФОТОХІМІЧНИХ ТОВАРІВ	
Меркуленко А. Д., Золотарьова О. В.	127
UTILIZATION OF DEFORMATION POWDER TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF IRON ALUMINIDE WITH HIGH TEMPERATURE STRENGTH	
Tolochyn O. I., Tolochyna O. V., Evych Ya. I., Okyn I. Yu.	128
АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНИХ МЕТОДІВ ВИРОБНИЦТВА КАЛЬЦИНОВАНОЇ СОДИ	
Невмирич З. Д., Золотарьова О. В.	130
ОБҐРУНТУВАННЯ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ КРИТЕРІЇВ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗОВНІШНІХ ВІДВАЛІВ ВУГІЛЬНИХ РОДОВИЩ	
Харківський А. В., Тарасов В. Ю.	131
МЕТОДИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ПРИ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАМ	
Голобородько В. С., Лифар В. О.	131
PROTECTION OF ELECTRICAL NETWORKS FROM OVERVOLTAGE: METHODS AND MEANS	
Filimonenko K.V., Varava Mykyta	133
ENSURING ELECTRICAL SAFETY AND RELIABILITY OF 0.4 kV OVERHEAD LINES DURING OVERVOLTAGES	
Filimonenko K.V.	135
SOME TECHNICAL SOLUTIONS TO INCREASE THE RELIABILITY OF ELECTRICAL EQUIPMENT	
Filimonenko N.M., Pavlov Mykyta	137
TECHNOLOGICAL, ECONOMIC EFFICIENCY AND SAFETY OF INDUSTRIAL ENTERPRISE OPERATION IN RELATION TO MOTOR LOAD STABILITY	
Filimonenko N.M.	138
ЗАСТОСУВАННЯ ФІНІШНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ВІЛЬНИМИ АБРАЗИВАМИ НА ПІДПРИЄМСТВАХ РЕМОНТУ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ	
Романченко О.В., Шумкова Т.О., Ніколаєнко А.П.	140
ПРОПОЗИЦІЇ ДЛЯ СТРУКТУРИЗАЦІЇ КУРСУ НАРИСНОЇ ГЕОМЕТРІЇ	
Ничик М. С., Гурін О. М., Цвіліхівський А. П., Карпюк Л.В.	142
COMPUTER GRAPHICS IN THE STUDY OF ENGINEERING GRAPHICS	
Pidpuzko N.V., Gorlo D.V., Davidenko N.O., Karpiuk L.V.	144
MODERN APPROACH TO THE STUDY OF GRAPHIC DISCIPLINES	
Yakymets O.M., Chekalov V.O., Davidenko N.O., Karpiuk L.V.	146
ЦІКАВЕ ПРО ГРАНІ ПОВЕРХНІ В ІНЖЕНЕРНІЙ ГРАФІЦІ	
Салінко Н.М., Гудименко О.М., Кобзар О. П., Карпюк Л.В.	147

КОМПОЗИЦІЇ ТЕРМОПЛАСТИЧНИХ ЕЛАСТОМЕРІВ НА ОСНОВІ СБС КАУЧУКІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВЗУТТЄВОЇ ПІДОШВИ	
Войтюк С.О., Римар Т.Е.	149
ТЕХНОЛОГІЯ ЕКСТРУЗІЇ ГРАНУЛЬОВАНИХ ТЕРМОПЛАСТИЧНИХ ЕЛАСТОМЕРІВ НА ОСНОВІ СБС КАУЧУКУ	
Ковальов С.Л., Римар Т.Е.	150
ПІДГОТОВКА КОМПОЗИЦІЙ ТЕРМОПЛАСТИЧНИХ ЕЛАСТОМЕРІВ НА ОСНОВІ СБС КАУЧУКІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СПІНЕНИХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ	
Сечко Р.В., Римар Т.Е.	152
ВИРОБНИЦТВА МІНЕРАЛОНАПОВНЕНИХ ПОЛІМЕРНИХ КОНЦЕНТРАТИВ	
Зайченко В. І., Ворох А. О., Римар Т. Е.	153
ВИКОРИСТАННЯ НАНОКАРБОНАТУ КАЛЬЦІЮ ДЛЯ ЗМІНИ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІЕТИЛЕНУ ВИСОКОЇ ЩІЛЬНОСТІ	
Ніколенко Р.С., Римар Т.Е.	154
МОДИФІКАЦІЯ ПОЛІПРОПІЛЕНУ ПОЛІОЛЕФІНОВИМИ ЕЛАСТОМЕРАМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ	
Цибульник М.І., Римар Т.Е.	155
ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ AUTOCAD ТА SOLIDWORKS У СУЧАСНОМУ CAD-ПРОЄКТУВАННІ	
Бажміна Е.А., Позняков А.М.	157
ДИНАМІЧНІ ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ ЯК ФАКТОР ВПЛИВУ НА РОБОТУ ЕЛЕКТРОПРИВОДНИХ СИСТЕМ	
Муженко Д. О., Брожко Р. М.	159
МЕТОДИ АВТОМАТИЗАЦІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОМЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ	
Рипаленко Д. В., Брожко Р. М.	160
ДРОБАРКА МЕТАЛЕВОЇ СТРУЖКИ ДЛЯ ФРЕРНОГО ВЕРСТАТУ	
Коротков В.С., Часов Д.П., Бейгул В.О.	161
ДІАГНОСТИКА ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТУ З ЧПК З ГОРИЗОНТАЛЬНИМ РОЗМІЩЕННЯ ШПИНДЕЛЯ	
Коротков В.С.	162
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТАЛООБРОБКИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК	
Коротков В.С.	164
МОДЕРНІЗАЦІЯ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА ТПК-125 З ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ	
Коротков В.С., Сітало Б.Р.	166
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ЗНОШУВАННЯ АБРАЗИВНИХ ГРАНУЛ	
Шумакова Т.О., Романченко О.В., Ніколаєнко А.П.	168
ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ У СИСТЕМІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЗМІШУВАННЯ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ПРЕПАРАТИВ ЗА ДОПОМОГОЮ АДАПТИВНИХ ПІД-КОНТРОЛЕРІВ	
Горло Д.В., Целіщев О.Б.	169

СУЧАСНА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВИХ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНОЇ ВІДЕООБРОБКИ	
Карпенко А.П., Целіщев О.Б.....	171
АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ КОЛОНОЮ СИНТЕЗУ У ВИРОБНИЦТВІ МЕТАНОЛУ	
Гурін О.М., Лорія М.Г.	172
ВИКОРИСТАННЯ ПІД-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОГО РІВНЯ СЛАБКОГО РОЗЧИНУ АМІАКУ У ВИРОБНИЦТВІ АМІАЧНОЇ СЕЛІТРИ	
Кобзар О.П., Лорія М.Г.	173
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ (КІСУ) ПРОЦЕСОМ РОЗКЛАДАННЯ КАРБАМАТУ У ВИРОБНИЦТВІ КАРБАМІДУ	
Кобзарєв Є.В., Лорія М.Г.	175
РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНОЇ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КОМПРЕСОРОМ НА ПРИКЛАДІ ВИРОБНИЦТВА СТИСНЕНОГО ПРИРОДНОГО ГАЗУ	
Чекалов В.О., Лорія М.Г.....	176
ІНТЕГРОВАНА КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ГАЗОФАЗНОГО ОКИСНЕННЯ АМІАКУ НА СТАДІЇ ВИРОБНИЦТВА СЛАБКОЇ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ: РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ	
Шмигаренко Р.М., Лорія М.Г.	178
AUTOMATION OF CONTROL PROCESSES FOR A DISTILLATION COLUMN IN ALCOHOL PRODUCTION	
Kupina O.A., Bilaonov A.Ch.	179
АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ СУШАРКОЮ У ВИРОБНИЦТВІ ЦЕМЕНТУ	
Купіна О.А., Гудименко О.М.....	180
АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ВИПАЛЮВАЧЕМ РІДКОГО АМІАКУ У ВИРОБНИЦТВІ АМІАКУ: ОГЛЯД ПИТАННЯ	
Купіна О.А., Дуришев О.А.....	181
RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF SORPTION APPARATUSES	
Kupina O.A., Yaremchuk I.V.	183
RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF AN ABSORBER	
Brun O.M., Tselishchev O.B.....	184
DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A COMPLEX COMPUTER-INTEGRATED CONTROL AND MANAGEMENT SYSTEM FOR A HEAT EXCHANGER ON THE EXAMPLE OF A LIQUID AMMONIA EVAPORATOR IN AMMONIUM NITRATE PRODUCTION	
Saveliev V.V., Tselishchev O.B.	185
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ДЕНІТРАЛІЗАТОРОМ АМІАЧНОЇ СЕЛІТРИ В ТЕХНОЛОГІЇ СИНТЕЗУ НІТРОГЛІЦЕРИНУ: СИСТЕМНИЙ ПІДХІД	
Щербань О.А., Целіщев О.Б.....	186

КОМБІНОВАНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПІДРАХУНКУ ЧАСТИНОК ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ	
Крохмаль А. В., Крохмаль В. І., Тарасов В. Ю.	187
ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОНОМНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ГІРНИЧІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ	
Ткачук В.С., Тарасов В. Ю.	190
ДОСЛІДЖЕННЯ ГРАДІЄНТНОГО МЕТОДУ З ПОДРОБЛЕННЯМ КРОКУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ	
Полтавський І.А., Самойлова Ж.Г.	192
АПРОКСИМАЦІЯ ЛІНІЙНОЮ НЕЙРОННОЮ МЕРЕЖЕЮ З ЗВОРТНІМ РОЗПОВСЮДЖЕННЯМ ПОМИЛКИ ЗАЛЕЖНОСТІ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЦТОВОЇ КИСЛОТИ НА ВИХОДІ РЕАКТОРА СИНТЕЗУ ОЦТОВОЇ КИСЛОТИ ВІД ВИТРАТИ МЕТАНОЛУ, ЩО ПОДАЄТЬСЯ В РЕАКТОР В МОМЕНТ ПУСКУ	
Самойлова Ж.Г., Полтавський І.А.	193
ВПЛИВ ПАРАМЕТРУ SPREAD НА АПРОКСИМАЦІЮ НЕЙРОННОЮ МЕРЕЖЕЮ GRNN ЗАЛЕЖНОСТІ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОЦТОВОЇ КИСЛОТИ НА ВИХОДІ РЕАКТОРА СИНТЕЗУ ОЦТОВОЇ КИСЛОТИ ВІД ВИТРАТИ МЕТАНОЛУ, ЩО ПОДАЄТЬСЯ В РЕАКТОР В МОМЕНТ ПУСКУ	
Самойлова Ж.Г., Татарчук Р.Є.	194
ФОТОКАТАЛІТИЧНІ МАТЕРІАЛИ: ОСТАННІ ДОСЯГНЕННЯ ТА НАЙБЛИЖЧІ МАЙБУТНІ ТЕНДЕНЦІЇ	
Гончаренко Я.О., Тарасов В.Ю.	195
WIND ENERGY POTENTIAL IN UKRAINE	
Vasyukov V.V., Morneva M.O.	196
DIAGNOSTICS TOOLS AND EQUIPMENT FOR ELECTROMECHANICAL MODULES AND SYSTEMS	
Kalinin A.M., Morneva M.O.	197
REGARDING SOLAR POWER PLANTS	
Morduga V., Morneva M.	198
FROM SOIL TO ROCKWOOL: THE FUTURE OF TOMATOES IN CLOSED ECOSYSTEMS	
Anikieiev M., Sotnikova T.	199
SORPTION GAS CAPACITY OF COAL	
Rudniev Y.S.	201
SWITCH-INDUCTOR ELECTRIC DRIVE FOR GENERAL INDUSTRIAL MECHANISMS	
Rudniev Y.S., Bezkrivnyi O.O.	203
MODERN CLASSIFICATION OF AUTOMATED ELECTRIC DRIVES	
Rudniev Y.S., Loda I.Yu.	205
APPROACHES TO SPEED CONTROL OF AN ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR	
Rudniev Y.S., Maiboroda M.V.	208
ELECTRIC DRIVE WITH LINEAR MOTORS	
Rudniev Y.S., Tsukor O.S.	210

ELECTRIC DRIVE WITH STEPPER MOTOR FOR GENERAL INDUSTRIAL MECHANISMS

Rudniev Y.S., Zaraiskyi A.O.212

ПІПІЄНІЧНА ОЦІНКА ТКАНИН ДЛЯ СПОРТИВНОГО ТА ПОВСЯКДЕННОГО ОДЯГУ НА ОСНОВІ СТРУКТУРИ ТА ВОЛОКНИСТОГО СКЛАДУ

Ріпка Г.А., Сербулов М.О., Овчаренко А.С.214

РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАФАРБОВУВАННЯ В GPU

Романюк О.Н., Черняк О.І., Майданюк В.П., Дембіцький О.О.216

ШИФРУВАННЯ ТРИВИМІРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Романюк О.Н., Майданюк В.П., Нечипорук М.Л.218

ТЕХНОЛОГІЯ ОКСИДЕГІДРОХЛОРУВАННЯ ХЛОРОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

Кузьменко А.В., Баранова Л.А.220

ЗНИЖЕННЯ АГРЕСИВНОСТІ ОБОРОТНИХ ВОД

Татарченко Г.О., Білошицький М.В., Білошицька Н.І.223

АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ШИФРУВАННЯ ГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Лужецький В.А., Романюк О.Н., Нечипорук М.Л.224

FACTORS OF IMPACT OF RAILWAY TRANSPORT INFRASTRUCTURE ON THE ENVIRONMENT

Svirikova A.Ye., Vlasenko K.H., Harmash B.K.227

ROBOTICS AND THE FUTURE OF WORK - THE EVOLUTION OF THE LABOR MARKET

Balyaba D.O., Tertyshnyk Yu. O., Hryhorieva Ye.S.229

THE ROLE OF HEAVY METALS IN BIOLOGICAL ORGANISMS AND THEIR NEGATIVE IMPACT IN CASE OF MAN-MADE POLLUTION

Hryhoriev Yu.V., Masalitina H.I., Katkovnikova L.A.231

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНОЇ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДРОБАРКИ НА ПРИКЛАДІ ВИРОБНИЦТВА ЦЕМЕНТУ – СТИСЛИЙ ОГЛЯД

Харченко О.В.233

РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ ІГРОВОГО ЗАСТОСУНКУ НА РУШІЇ UNITY

Щербак І. В.234

СТАТИСТИКА СЕРЦЕВО-СУДИННИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

Романюк О.Н., Присяжнюк В.В., Тітова Н.В., Романюк С.О.236

ВИКОРИСТАННЯ ПРЕПАРАТУ ЧИКТОНИК ПРИ ВИРОЩУВАННІ БРОЙЛЕРІВ

Шпота Н. О., Рогозян О. В., Домніч Є. С.239

ВІТАМІНИ ГРУПИ D ТА ЇХ БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ОРГАНІЗМУ ТВАРИН

Лазоренко С.О., Мацнева А.О.240

ВРАХУВАННЯ СОЦІАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ**ПРАЦЕВЛАШТУВАННЯ ВЕТЕРАНІВ В УПРАВЛІННІ ЛЮДСЬКИМИ РЕСУРСАМИ**

Дегтяров Д.А., Мінакова В.О.242

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ МЕНЕДЖЕРІВ СЕРЕДНЬОЇ ЛАНКИ

Мінакова В. О., Пономар А. М.244

ВІДБУДОВА ЖИТЛА НА ПОСТКОНФЛІКТНИХ ТЕРИТОРІЯХ: МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД ДЛЯ УКРАЇНИ	
Ковальчук Є.О.	246
ТЕОРЕТИЧНА СКЛАДОВА ОЦІНКИ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ОХОРОНИ ПРАЦІ	
Гриценко Н.В., Козодой Д.С.	248
КОГНІТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ СТРЕСОВИХ РЕАКЦІЙ У ЖІНОК СЕРЕДНЬОГО ВІКУ В УМОВАХ СУЧАСНОГО УКРАЇНСЬКОГО СУСПІЛЬСТВА	
Макарь О.В., Лосієвська О.Г.	250
УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ ОПЕРАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ	
Левицький В.В.	251
ПРАВА І СВОБОДИ ГРОМАДЯН В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ	
Жмуренко В.М.	254
ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ МОРАЛЬНО-ЕТИЧНОЇ КУЛЬТУРИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ПРЕДМЕТІВ МИСТЕЦЬКОГО ЦИКЛУ	
Жуков В.П.	256
ПОЛУМ'Я ВИЗВОЛЕННЯ: НАЦІОНАЛЬНО-ВИЗВОЛЬНА ВІЙНА УКРАЇНСЬКОГО НАРОДУ СЕРЕДИНИ XVII СТОЛІТТЯ	
Добрицька Дар'я.	259
ГРАФІТІ СОФІЇ КИЇВСЬКОЇ, ЯК ІСТОРИКО-КУЛЬТУРНЕ ДЖЕРЕЛО	
Кірсанова Карина	260
ПОЛІТИКА ПАМ'ЯТІ ЩОДО УКРАЇНСЬКИХ СІЧОВИХ СТРІЛЬЦІВ В УМОВАХ НЕЗАЛЕЖНОСТІ	
Нізовець Артем.	261
ДИПЛОМАТІЯ, ЯК ОДИН ІЗ МЕТОДІВ ЗОВНІШНЬОЇ ПОЛІТИКИ ОКТАВІАНА АВГУСТА	
Олійник Руслан.	262
НОМІНАТИВНО-ДЕНОТАТНА КЛАСИФІКАЦІЯ ЕРГОНІМІВ МІСТА ВІННИЦІ	
Конончук К.О.	263
ФОНЕТИЧНИЙ ФРОНТ: ЯК УКРАЇНСЬКА МОВА ВІДРІЗНЯЄ «СВОЇХ» ВІД «ЧУЖИХ»	
Харчук М.В., Гречановська І.В.	265
ПЕРСОНАЛЬНИЙ БРЕНД СУЧАСНОГО ПЕДАГОГА: ІНСТРУМЕНТИ СТВОРЕННЯ ТА ПРОСУВАННЯ	
Небосенко В., Садовенко С. Г.	266
ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЇХ ВІДОБРАЖЕННЯ В ПРОФЕСІЙНІЙ ОСВІТІ	
Овсієнко Д. О., Садовенко С. Г.	267
LMS MOODLE ЯК ІНСТРУМЕНТ ПЕРСОНАЛІЗАЦІЇ НАВЧАННЯ	
Бажміна Е.А.	268
ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ПРОГРАМИ ПОДОЛАННЯ ПРОФЕСІЙНОГО СТРЕСУ У ПРАЦІВНИКІВ СФЕРИ ОБСЛУГОВУВАННЯ	
Лосієвська О.Г., Мальнєв А.С.	270

ПСИХІЧНЕ ЗДОРОВ'Я ЖІНОК ЗРІЛОГО ВІКУ	
Шаталюк О.В., Лосієвська О.Г.	271
ПСИХОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ СТВОРЕННЯ ПІДТРИМУЮЧОГО СЕРЕДОВИЩА У ЗАКЛАДІ ВИЩОЇ ОСВІТИ	
Лосієвська О.Г., Моргунова К.С.	273
ПОСТТРАВМАТИЧНЕ ЗРОСТАННЯ ЯК ЗАПОРУКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПСИХОЛОГІЧНОГО ЗДОРОВ'Я ОСОБИСТОСТІ	
Лосієвська О.Г., Холодова С.Г.	276
ФЕНОМЕН СТРЕСОСТІЙКІСТІ В УМОВАХ СУСПІЛЬНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ	
Шевченко О.А., Лосієвська О.Г.	278
ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИВЧЕННЯ ФЕНОМЕНУ ПОСТТРАВМАТИЧНОГО ЗРОСТАННЯ	
Ільчук О.В., Лосієвська О.Г.	280
НЕОЛОГІЗМИ ЯК ВАЖЛИВИЙ ВЕКТОР ЛІНГВОКРЕАТИВУ СЬОГОДНІ: СТАТУС, ФУНКЦІЇ	
Бортун К.О.	281
COGNITIVE AI AGENTS FOR SMART CLASSROOMS: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES	
Dr. Abhishek Pandey	283
ФОРМУВАННЯ ІНКЛЮЗИВНОЇ КУЛЬТУРИ ЧЕРЕЗ ЗАНЯТТЯ ФІЗИЧНОЮ КУЛЬТУРОЮ І СПОРТОМ В ЗАКЛАДАХ ОСВІТИ	
Ткачук О.Г.	286

РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАФАРБОВУВАННЯ В GPU

Романюк О.Н., д.т.н, професор, Черняк О.І., к.т.н, доцент, Майданюк В.П. к.т.н, доцент,
Дембіцький О.О.

Вінницький національний технічний університет

Основною метою зафарбовування в GPU [1-4] є візуалізація тривимірних об'єктів на двовимірному екрані шляхом імітації фізичних властивостей світла, поверхонь та матеріалів. Процес починається після того, як полігони сцени були перетворені у фрагменти під час растеризації. Важливим компонентом зафарбовування є фрагментний шейдер — програма, яка виконується GPU паралельно для кожного фрагмента. Він отримує інтерпольовані дані від вершинного шейдера та виконує обчислення для визначення фінального кольору пікселя. Зафарбовування зазвичай включає моделі освітлення: дифузне відбиття Ламберта, спекулярне відбиття за моделлю Фонга або Бліна-Фонга, а в сучасних системах — фізично коректне відтворення світла за моделлю Physically Based Rendering.

Після обчислення кольору фрагмента виконується тест глибини, шаблону та, за потреби, альфа-композиція. Якщо фрагмент проходить ці перевірки, його колір записується у кадровий буфер. Реалізація цього процесу в GPU ґрунтується на SIMT-архітектурі, де багато потоків одночасно обробляють фрагменти, забезпечуючи високу продуктивність.

Реалізація зафарбовування у GPU також враховує складні ефекти, які покращують візуальну якість зображення, зокрема тіні, відображення, заломлення світла, глобальне освітлення та атмосферні ефекти. У традиційних підходах ці ефекти були реалізовані окремими проходами або пост обробкою. Сучасні графічні API, такі як Vulkan або DirectX 12, дозволяють ефективніше управляти графічним конвеєром і реалізовувати складні шейдери на низькому рівні.

Особливу роль відіграє використання багатьох типів карт: нормалей, глибини, блиску, металевості, шорсткості, які дозволяють деталізувати відображення світла на поверхні без необхідності збільшення геометричної складності.

Важливим аспектом є також згладжування, яке зменшує ефект "зламаних" країв на об'єктах. Це може бути реалізовано за допомогою MSAA (Multi-Sample Anti-Aliasing), FXAA (Fast Approximate Anti-Aliasing) або Temporal AA.

У випадках, коли необхідно забезпечити високу продуктивність, застосовуються оптимізації: відсікання невидимих фрагментів, стискання текстур, передобчислене освітлення, або використання рівнів деталізації. Все це спрямовано на зменшення навантаження на GPU без помітної втрати якості візуалізації.

Крім традиційного зафарбовування, активно розвивається шлях трасування променів у реальному часі (real-time ray tracing), який частково або повністю замінює класичний підхід. У цьому випадку зафарбовування базується на симуляції проходження світла через сцену і його взаємодії з об'єктами, що дозволяє досягати максимальної фотореалістичності, проте потребує спеціалізованих блоків, як RT Cores у NVIDIA RTX або аналогів у AMD.

Сучасна реалізація зафарбовування в GPU тісно пов'язана з архітектурою графічного процесора, яка спеціалізується на масово-паралельних обчисленнях. Кожен GPU складається з великої кількості поточкових мультипроцесорів, що містять тисячі ядер, здатних одночасно виконувати фрагментні шейдери. Коли сцена відображається на екрані, кожен піксель потенційно може бути оброблений окремим потоком, що забезпечує масштабовану продуктивність і реалістичне зображення з мінімальною затримкою.

Важливим компонентом є пайплайн обробки фреймів, який включає не лише геометричні етапи, а й постобробку. Після зафарбовування, GPU виконує такі операції, як тонове відображення, яке переводить високодинамічний діапазон кольорів у діапазон, який може бути відображений на дисплеї, а також корекцію кольору, розмиття, ефекти глибини різкості та інші візуальні покращення. Усі ці обчислення, хоча й є окремими від класичного

фрагментного зафарбовування, працюють з результатами роботи фрагментних шейдерів і є невід'ємною частиною рендерингу.

GPU також підтримують використання шейдерних мов високого рівня, таких як GLSL, HLSL, Metal Shading Language та SPIR-V для Vulkan. Ці мови дозволяють гнучко задавати логіку зафарбовування, включно з умовним відображенням, складними математичними моделями відбиття або розсіювання, динамічними анімаціями текстур та процедурними ефектами, такими як шум, вогонь, вода або світіння. Це дає змогу розробникам реалізовувати складні візуальні ефекти без зміни апаратної частини системи.

У сучасних графічних процесорах (GPU) реалізація зафарбовування базується не лише на програмному виконанні шейдерів, але й на цілому наборі апаратних вузлів, які фізично реалізовані в кремнієвій архітектурі мікросхеми. Ці вузли працюють у взаємозв'язку та оптимізовані для обробки величезної кількості фрагментів паралельно. Першим ключовим апаратним елементом є растеризатор — блок, який після обробки геометрії перетворює полігони на пікселі. Він визначає, які частини екрану покриває кожен трикутник, та інтерполює значення атрибутів, таких як текстурні координати, нормалі і координати глибини для кожного фрагмента. Другим важливим блоком є фрагментні шейдерні блоки, які реалізуються в обчислювальних ядрах потокових мультипроцесорів. Кожен такий блок виконує програму шейдера для фрагментів, що надходять з растеризатора. Це включає обчислення освітлення, накладання текстур, обробку прозорості, визначення кольору пікселя та інших ефектів. Щоб забезпечити швидкий доступ до текстур, GPU використовує окремі апаратні модулі, відомі як текстурні блоки або TMU (Texture Mapping Units). Вони реалізують фільтрацію текстур, вибірку значень з міп-рівнів, інтерполяцію кольорів і кешування, що значно прискорює процес текстурування.

Завершальним етапом у конвеєрі є обробка фрагментів за допомогою блоків Raster Operations Pipelines, які відповідають за перевірку глибини, шаблонів, змішування кольорів (та запис фінального результату в кадровий буфер. У межах цього етапу також застосовуються алгоритми згладжування країв, альфа-композиція і фінальне стиснення кольорових даних перед записом у пам'ять. Крім того, сучасні GPU часто включають додаткові вузли, такі як RT-ядра, які виконують апаратну трасування променів для обробки складних ефектів освітлення та відбиття. Хоча вони не є частиною класичного зафарбовування, вони працюють у зв'язці з фрагментними шейдерами та ROP, доповнюючи зображення високореалістичними деталями. Інші допоміжні вузли відповідають за стискання кадру, кешування, обробку тайлів і підтримку багатопрхідного рендерингу.

Подальший розвиток апаратних вузлів зафарбовування у GPU пов'язаний із зростаючими вимогами до реалістичності зображення та ефективності обробки великих обсягів даних у реальному часі. Одним з напрямів еволюції є інтеграція гібридних рендерингових підходів, які поєднують традиційне растеризаційне зафарбовування з апаратною трасуванням променів. Для цього в графічних процесорах, зокрема в архітектурах NVIDIA Turing, Ampere та Ada Lovelace, а також AMD RDNA 2 і RDNA 3, були впроваджені окремі RT-ядра, які виконують апаратне прискорення таких операцій, як побудова ієрархій об'ємів (BVH), перетин променя з геометрією та обчислення глобального освітлення. Водночас фрагментні шейдери залишаються відповідальними за локальні моделі освітлення, що дозволяє отримати комбінований результат з високою швидкістю та якістю.

Крім RT-ядер, нові графічні процесори також включають Tensor Cores або Matrix Units — блоки, спочатку створені для задач глибокого навчання, але які також використовуються для зафарбовування з адаптивними шейдерами. Наприклад, у технології DLSS (Deep Learning Super Sampling) від NVIDIA використовується штучний інтелект, щоб реконструювати зображення високої роздільності з низькороздільних фреймів, фактично