

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Груць Юрія Миколайовича «Теорія і структурно-алгоритмічні основи побудови спеціалізованих відео-комп'ютерних стереоскопічних 3D систем», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

### **Актуальність теми.**

Конкретні форми комп'ютерної візуалізації неодноразово змінювалися, слідуючи, як за розвитком технічних засобів, так і за зростаючими потребами користувачів. Засоби відображення пройшли шлях від індикаторних лампочок і цифро-буквених дисплеїв – до сучасних LCD моніторів, шоломів віртуальної реальності, голографічних систем, лабораторних зразків волюметричних систем. Висока роздільна здатність LCD (OLED) дозволили суттєво розширити функціональні можливості об'єктів і процесів. Широке поширення отримали засоби півтонової кольорової машинної 3D графіки, яка забезпечує формування графічних сцен з фотореалістичною якістю.

Системи з такою графікою не враховують особливість бінокулярного зору людини, при якому, завдяки двом двовимірним зображенням створюється один тривимірний образ із глибиною, об'ємом, рельєфом, взаєморозташуванням і точною локалізацією предметів у просторі.

Бачення двома очима є головним інструментом людини для відчуття просторових взаємозв'язків і саме тому стереоскопічна 3D візуалізація використовується особливо для візуалізації тих просторових задач, коли півтонова 3D графіка неможлива. Це – так звані, каркасні (точково-скелетні) задачі: траєкторні, польові, фізико-хімічні, контурні, задачі розподілу, навчання, задачі натурно-комп'ютерного каркасного стереокопіювання.

Хоча метод стереоскопії з'явився ще в 16 столітті сучасні стереомонітори з'явилися на ринку тільки на початку 21 століття після того, як була досягнута комфортна для користувача частота зміни кадрів для LCD-матриць 100 Гц і більше. Такі стереомонітори спрямовані на візуалізацію 3D фото/кіно або ігрового контенту. Програмний продукт (наприклад, від компанії nVidia 3D Vision, яка є одна з кращих на ринку в цій галузі) теж спрямований на створення стереофайлів для вже готової стереопари фотографій, або відео. Стереопроцедури цієї компанії дозволяють перетворювати стереопари в стереофайли для різних сучасних систем стереовізуалізації (дзеркальних, анагліфічних, обтюраторних і ін.). Є процедури, які виконують функції вирівнювання та повороту стереопар, процедури масштабування і взаємної заміни складових стереопар. Але, на жаль, немає процедур інтерактивної взаємодії з віртуальним стереозображенням. Окремий спостерігач, який має свій стереобазис і знаходиться в конкретному ракурсі перед монітором, через стереоокуляри бачить «своє» стереоскопічне віртуальне зображення. Відомо, що не збігання стереобазису та стереоракурсу з розрахунковими параметрами призводить при спостереженні до артефактів (геометричних спотворень), що не дає адекватного уявлення про всі особливості об'єкта. Для науково-

дослідницьких і проектно-конструкторських робіт, пов'язаних з синтезом, аналізом, моделюванням складних видів каркасних комп'ютерних або натурно-комп'ютерних стереозображень, реалістичність і швидкість адекватного сприйняття віртуального зображення при визначенні просторової зони інтересу дослідника є принциповим і важливим питанням

Існує ряд задач і проблем, вирішення яких дасть можливість суттєво підвищити реалістичність та швидкість адекватного сприйняття складних каркасних, та натурно-каркасних стереозображень. По-перше, це задача введення зворотного зв'язку по стереобазису і по стереоракурсу конкретного спостерігача в процедуру обчислення стереопар. По-друге, це задача створення інтерактивного інструментарію реального часу для організації взаємно-зворотного зв'язку між тривимірним простором і стереообластю. По-третє, це задача визначення кореспондентських стереоточок для синтезованого каркасного зображення. По-четверте, це задача крайового стереоефекту. В п'ятих, це задача побудови математичних моделей для аналізу геометричних спотворень, пов'язаних з неточністю стереобазису і стереоракурсу в різних стереосистемах. По-шосте, це задача створення високопродуктивних спеціалізованих стереосистем для відображення натурно-комп'ютерної стереоінформації. Ці задачі неможливо вирішити з використанням наявної теоретичної бази.

Оскільки для багатьох галузей застосування тривимірної комп'ютерної графіки традиційні методи та засоби формування стереоскопічних тривимірних зображень не задовольняють вимогам по адекватності, реалістичності та продуктивності – то існує важлива науково-прикладна проблема побудови спеціалізованих стереосистем з комбінованою формою представлення інформації, для розв'язку якої необхідна розробка теоретичних основ формування та аналізу тривимірних каркасних і натурно-каркасних стереозображень.

Вирішенню цієї **актуальної проблеми** – підвищенню рівня продуктивності, реалістичності та адекватності сприйняття складних комбінованих стереозображень при побудові спеціалізованих відео-комп'ютерних 3D систем за рахунок розробки теорії і структурно-алгоритмічних основ формування та аналізу каркасних і натурно-каркасних стереозображень і присвячено дану дисертаційну роботу.

Дисертаційна робота виконувалась згідно з планами відомчих науково-дослідних тем НАН України (Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України), а також у рамках спільної Постанови-Наказу № 00613/100 Президії НАН України і Міністерства машинобудування СРСР (тема "Розробка систем обробки і відображення інформації з використанням стереоскопічних пристроїв» у рамках проблеми «Розробка багатопроцесорних комплексів, що забезпечують напівнатурні моделювання»).

**Наукова новизна та теоретична цінність результатів.** В дисертаційній роботі виконано теоретичне обґрунтування та отримано рішення актуальної науково-прикладної проблеми підвищення рівня продуктивності, реалістичності та адекватності сприйняття складних комбінованих

стереозображень при побудові спеціалізованих відео-комп'ютерних 3D систем за рахунок розробки теорії і структурно-алгоритмічних основ формування та аналізу каркасних і натурно-каркасних стереозображень.

Наукова новизна відображена у наступних отриманих результатах, які мають теоретичну цінність:

1) вперше розроблено «операторний метод стереопертворень» для постійного, змінного та 3х поворотних стереоракурсів спостереження, а також – для постійного ракурсу спостереження в стереосистемах, що містять плоске дзеркало, що дозволило вирішити ряд задач, спрямованих на підвищення рівня адекватності, реалістичності та продуктивності сприйняття складних стереозображень;

2) вперше на базі запропонованого операторного методу вирішена кореспондентська задача для каркасних графічних стереозображень, що дало можливість для будь-яких стереозображень, як синтезованих вперше, так і тих, які пройшли різні маніпуляції, однозначно встановлювати кореспондуючі (суміжні) точки стереопар;

3) вперше на базі запропонованого операторного методу розроблено математичні основи вирішення задачі крайового стереоефекту при формуванні каркасних графічних стереозображень, що дозволило, по-перше, усунути дискомфорт при спостереженні каркасних графічних зображень на краях екрану, по-друге, – виключило можливість втрати кореспондуючих стереоточок на краях;

4) вперше розроблено математичні моделі для нових графічних каркасних стереопроцедур: «3D-огляд», «3D-інтерполятор», «3D-вікно», «3D-рекурсія», «3D-маніпуляції» «3D-курсор», що розширило можливість оператора синтезувати незвичайні віртуальні стереозображення, а також – дало можливість оператору взаємодіяти із стереозображенням в інтерактивному режимі, маючи під рукою стереокурсор, тривимірні координати центру якого постійно виводяться на екран;

5) розроблено математичні моделі аналізу геометричних спотворень при використанні іншого базису і/або ракурсу спостереження в системах: стереоекран – спостерігач; об'єкт – стереокамера – стереопроектор – стереоекран; об'єкт – стереокамера – стереопроектор – стереоекран – спостерігач для різних випадків розташування стереокамери та стереопроектора, що дало можливість встановлювати факт адекватності сформованої тривимірної моделі запитам спостерігача, при різних умовах спостереження, зйомки і візуалізації. Отримані моделі можна розглядати як новий інструментарій для проектування стереосистем з мінімальними спотвореннями;

б) розроблено метод натурно-комп'ютерного графічного стереомодельовання, що дав можливість поєднувати в одному віртуальному стереопросторі і в реальному часі два види стереоінформації: натурної напівтонової і комп'ютерної графічної, при повному узгодженні стереоракурсів, стереобазисів та систем координат. Метод розширив можливості тривимірного графічного модельовання, особливо в тих випадках, коли стереокамери

розташовані в зонах, де людині знаходиться небезпечно;

7) розроблено основні принципи конструювання стереоскопічного телевізійно - обчислювального комплексу (СТОК) для відображення комбінованої натурно-каркасної 3D інформації, що дозволило реалізувати запропонований метод натурно-комп'ютерного графічного стереомодельювання

8) розроблено теоретичні основи побудови стереосистеми визначення позиції спостерігача перед монітором, що дозволило проектувати бездротову стереосистему визначення 6 ступенів свободи позиції голови спостерігача перед монітором, орієнтовану на процедури операторного методу стереоперетворення, і тим самим, виключити похибки розташування спостерігача;

9) доведено, що групова арифметична операція скалярного добутку двох дійсних векторів є домінуючою в багатьох обчислювальних процесах алгебри і аналізу, в матричних перетвореннях, у 3D графіці і в стереографіці. Запропоновано матриці диференційно-інтегральних операторів для неоднорідних систем лінійних диференціальних рівнянь, які дозволили розширити коло вирішуваних задач.

10) доведено можливість використання обчислювальних структур змішаного кодування з груповою операцією для вирішення систем лінійних диференціальних рівнянь у T-області (за методом Пухова Г.Є.). Для тих спеціалізованих стереосистем, які включені в контур оперативного управління важливими динамічними процесами, процесор сум парних додатків дасть істотне підвищення продуктивності обчислень у процедурах стереообробки і в інших обчислювальних процесах.

11) для синтезу процесорів групових арифметичних операцій *отримали подальший розвиток* два методи синтезу процесорів групових арифметичних операцій: метод надлишкового кодування та метод детермінованого синтезу.

Обидва методи дозволяють з єдиних позицій синтезувати швидкі обчислювальні комбінаційні структури процесорів. Перший досить формалізований, а тому розробник при синтезі не замислюється про знаки операндів, оскільки всі перетворення проводяться на ділянці зображень, де всі числа тільки додатні. Однак цей метод передбачає збільшену кількість обладнання. Другий метод більш складний, вимагає від розробника спеціальних знань і творчості, але зате – дозволяє створювати економічні схеми комбінаційних матричних процесорів високої продуктивності.

12) Запропоновано концепцію та основні принципи конструювання волюметричної системи на основі гібридної шаруватості, що дозволяє проектувати динамічну, багаторакурсну, багатооператорну 3D систему високої роздільної здатності, що не має додаткових пристроїв (типу окулярів або шоломів) для спостереження 3D зображень. Така система дасть можливість усунути дисбаланс між акомодациєю та конвергенцією зору, що викликає дискомфорт і стомлюваність у спостерігача стереозображень.

13) Запропоновано принцип побудови та алгоритм руху багатокамерної стереосистеми стеження за рухомим об'єктом в ближній зоні, що дозволяє проектувати системи стереоскопічного зору для робототехнічних комплексів.

Визначені основні наукові результати є **новими**.

**Теоретичне значення роботи** полягає у розвитку теорії і структурно-алгоритмічних основ побудови спеціалізованих високопродуктивних реалістичних відео-комп'ютерних стереоскопічних 3D систем, що володіють можливостями для підвищення рівня і швидкості адекватного сприйняття складних каркасних і натурно-каркасних стереозображень.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в наступному:

- Розроблено та виготовлено 3 версії телевізійної стереоскопічної системи відображення цифрової інформації (ТССОЦ), що дало можливість обробляти та відображати в реальному часі багатотраєкторну просторову інформацію, що надходить з напівнатурних моделюючих комплексів.

- Розроблено та виготовлено спеціалізовану стереоскопічну систему відображення натурної інформації (ССОНІ), що дозволило використовувати її в якості системи дистанційного просторового зору робототехнічних комплексів, що працюють в полях високого рівня радіації.

Результати дисертаційної роботи *впроваджено* на таких підприємствах:

- ЦНІХМ, м. Москва (система ТССОЦ);
- ПО Спецатом м. Прип'ять, Київська обл.(система ССОНІ).

**Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів.** Отримані результати є обґрунтованими та достовірними, це підтверджується значним обсягом здійснених досліджень, поданим фактичним матеріалом та його науковою інтерпретацією, практичним використанням запропонованих розробок та апробацією на наукових конференціях й семінарах.

У роботі коректно застосовано основні положення теорії:

аналітичної геометрії, лінійної алгебри, стереоскопії, машинної графіки – для розробки теоретичних основ синтезу процедур каркасної стерео графіки та аналізу геометричних деформацій у стереосистемах;

чисел і чисельних методів, методи диференціального й інтегрального числення, систем алгебраїчних рівнянь, Тейлоровські перетворення Г.Є. Пухова - для розробки процедур застосування групової арифметичної операції;

булева алгебра, машинна арифметика в залишкових класах – для задач синтезу спеціалізованих процесорів;

теорія телебачення, теорія обчислювальних машин - для синтезу структур спеціалізованих стереосистем.

Перевірка теоретичних положень і принципів побудови проводилась на стереосистемах ТССОЦ, ССОНІ та СТОК, які було розроблено і реалізовано в ІПМЕ ім.Г.Є. Пухова НАН України. Результати виявилися позитивні, про що свідчать підтвердженій Міністерством машинобудування економічний ефект від впровадження декількох поколінь системи ТССОЦ; а також акт випробування системи ССОНІ на майданчику Спецатом, м. Прип'ять. Усі нові графічні стереопроцедури моделювалися з використанням програми СТЕРЕО на комплексі СТОК; де також було успішно доведено ефективність нового методу натурно-комп'ютерного графічного стереомоделювання.

Достовірність висновків та рекомендацій підкріплена відповідними

актами, результатами комп'ютерного моделювання, а також відповідними публікаціями.

**Оцінюючи зміст дисертаційної роботи в цілому,** слід відмітити її обґрунтованість та практичну спрямованість, внутрішню єдність матеріалу. У цілому поставлені в розглянутій дисертації завдання вирішені повністю. Здобувачем у дисертації отримані науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують актуальну науково-прикладну проблему підвищення рівня продуктивності, реалістичності та адекватності сприйняття складних комбінованих стереозображень при побудові спеціалізованих відео-комп'ютерних 3D систем за рахунок розробки теорії і структурно-алгоритмічних основ формування та аналізу каркасних і натурно-каркасних стереозображень.

Дисертаційна робота оформлена згідно вимогам до докторських дисертацій.

**Повнота викладу результатів роботи в опублікованих працях.** Основні результати дисертації з достатньою повнотою відображено в 57 наукових працях, з яких: 34 – у фахових наукових виданнях, у тому числі 1 монографія, 18 – у наукових журналах що індексуються міжнародними наукометричними базами даних (4 – у базі Scopus ); 16 – у матеріалах конференцій; 7 – в інших виданнях, з яких 2 – авторських свідоцтва, 2 – препринта. Аналіз внеску автора в публікації по питаннях, висвітлених в дисертації, показав, що внесок Груць Ю.М. є *вирішальним*.

**Рекомендації щодо використання результатів.** Отримані автором результати можуть бути використані при розробці нових і модифікації існуючих спеціалізованих відео-комп'ютерних 3D систем. Результати роботи доцільно використовувати в організаціях та на підприємствах, які займаються розробкою та експлуатацією спеціалізованих відео-комп'ютерних 3D систем на основі формування та аналізу каркасних і натурно-каркасних стереозображень.

**Автореферат** повною мірою відображає зміст і основні положення дисертаційної роботи.

**Недоліки дисертаційної роботи.** Разом з тим дисертаційна робота має і ряд недоліків, серед яких необхідно відзначити наступні:

1. Перший розділ перевантажено довідковою інформацією, яку доцільно було б перенести до Додатків.
2. 6 розділ дисертації присвячено методам синтезу процесорів групових арифметичних операцій. Однак наведено методи синтезу процесорів арифметичних операцій у різних системах числення та різних формах представлення. Розглянуто синтез комбінаційних схем суматорів і пристроїв множення, це не процесори, відсутні блоки управління. Елементною базою щодо реалізації передбачається мікросхеми 155 серії. По-перше це дуже застаріла серія, було б цікаво розглянути сучасні мікросхеми ПЛІС.
3. В роботі розглянуто застосування операційного методу стереоперетворень для систем, що містять плоске дзеркало, при постійному ракурсі спостереження. Доцільно було б поширити вказаний метод для систем, що містять плоске дзеркало для випадку

- змінного і поворотних ракурсів стереоспостереження.
4. Автор стверджує у висновках до 6 розділу, що перший метод передбачає збільшену кількість обладнання, а другий метод дозволяє створювати економічні схеми. А де підтвердження цих висновків?
  5. На жаль, у Висновках автор не наводить кількісних оцінок, що не дає можливості оцінити переваги перед існуючими рішеннями.
  6. В дисертації зустрічаються (правда, у незначній кількості) орфографічні та стилістичні помилки, а також недбало оформлено список використаних джерел.

**Загальний висновок по дисертації.** Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, у якій отримано розв'язання актуальної науково-прикладної проблеми підвищенню рівня продуктивності, реалістичності та адекватності сприйняття складних комбінованих стереозображень при побудові спеціалізованих відео-комп'ютерних 3D систем за рахунок розробки теорії і структурно-алгоритмічних основ формування та аналізу каркасних і натурно-каркасних стереозображень.

Робота є *актуальною*, містить *нові наукові результати*, автором дотримано цілісність підходу.

Дисертаційна робота на тему "Теорія і структурно-алгоритмічні основи побудови спеціалізованих відео-комп'ютерних стереоскопічних 3D систем" є завершеним науковим дослідженням, відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. (зі змінами), а її автор – **Груць Юрій Миколайович** заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

## ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ

Провідний науковий співробітник  
відділу мікропроцесорної техніки  
Інституту кібернетики  
ім. В.М. Глушкова НАН України,  
д.т.н., проф.



**Опанасенко В.М.**