УДК 620. 179

В.Е.МАХОВ, *канд. техн. наук, доцент,* (*812*) *328-85-39*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

V.E.MAKHOV, *PhD in eng. sc., associate professor,* (*812*) *328-85-39*
National Mineral Resources University (*Mining University*), *Saint Petersburg*

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ АЛМАЗОВ НА БАЗЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ NATIONAL INSTRUMENTS

Рассмотрены вопросы построения автоматизированной системы идентификации и контроля ограненных камней на базе аппаратно-программных средств фирмы National Instruments. Использованы средства робототехники (NI SoftMotion Development Module for LabVIEW), которые позволяют реализовать систему позиционирования камней в процессе контроля и система технического зрения (NI Vision Assistant). Разработан алгоритм, мало чувствительный к параметрам цифровой регистрации и условий освещения. Результаты проведенных исследований показали возможность создания средств контроля для идентификации бриллиантов.

***Ключевые слова*:** система технического зрения, виртуальный прибор, бриллиант.

NONDESTRUCTIVE OPTICAL CONTROL DIAMONDS ON THE BASIS OF COMPUTER TECHNOLOGY NATIONAL INSTRUMENTS

Questions of construction of an automated system identification and control of cut stones on the basis of hardware and software company National Instruments. Used means of robotics (NI SoftMotion Development Module for LabVIEW), which allow you to implement the positioning system of stones in the control and vision system (NI Vision Assistant). Developed an algorithm, which is not very sensitive to the parameters of digital recording and lighting conditions. The results of studies have shown the ability to create controls to identify diamonds.

***Key words*:** vision systems, virtual instrument, the mechanical instability, diamond

Идентификация и контроль ограненных камней является сложной задачей, где трудно получить надежные результаты. Например, стоимость бриллианта зависит от пяти уникальных для каждого камня составляющих: массы, формы, цвета, дефектности и геометрии, а количество граней определяется формой огранки алмаза [1]. Существующие измерительные приборы визуального контроля камней (деймолайт, пропорцископ, микроскоп) не позволяют автоматизировать процесс контроля и формировать объективные отчетные данные контроля.

Для определения массы (основной характеристики) используются различные приборы контроля, в том числе основанные на измерении его геометрических параметров (если камень закреплен в ювелирное изделие). Приблизительно вычислить массу бриллианта можно, проведя измерения диаметра камня стандартной круглой огранки [1] (рис.1), используя таблицы (ТУ 25-07.1319-77) или формулу. Более точный прецизионный расчет массы бриллиантов с учетом всех основных параметров огранки, таких как диаметр камня, общая высота, толщина ру-



Рис.1. Образцы бриллиантов

диста, глубина павильона и т.д. позволяют производить специальные программы, например Diamond Calculator [2]. Для обмена информацией о бриллиантах дилеры и огранщики создают трехмерные модели в формате «.gem». Для этого используются программы моделирования, такие как Diamond Calculator [3], позволяющие задавать размеры камня, формы и пропорции его огранки. Другой способ – отсканировать бриллиант с помощью специальных сканеров, производимых такими компаниями, как Сарин, ОГИ, ОктоНус. Модуль программы GemAdviser служит для просмотра трехмерных компьютерных моделей бриллиантов или других ограненных камней. Программа позволяет определить степень возврата света, а также количество утечки света через павильон, что в свою очередь может служить критериями качества огранки и их идентификации.

Существующие методы контроля даже только геометрических параметров камня в реальных условиях не только трудоемки и нетехнологичны, но не интегрируются с определением других качественных и индивидуальных количественных характеристик камня (цвета, дефектности).

Актуальной задачей контроля параметров и особенностей камней является разработка автоматизированной системы, которая может быть решена на базе средств технического зрения. Практическое решение задачи имеет ряд сложностей, связанных в первую очередь с воспроизводимым позиционированием камня и калибровкой его изображения.

Сложность проведения контроля заключается в сложности позиционирования кристалла. Очевидно, задача может быть решена на базе аппаратно-программных средств технического зрения и робототехники. Оптимальным вариантом решения этой задачи является использование технологий фирмы National Instruments (NI) в области построения виртуальных приборов (ВП) контроля, которая позволяет создавать масштабируемые контрольно-измерительные системы (КИС) с дистанционным управлением. В составе аппаратно-программных средств NI имеются средства робототехники (NI SoftMotion Development Module for LabVIEW, NI Motion Assistant), которые позволяют реализовать систему позиционирования камней в процессе контроля. Индивидуальная идентификация камней средствами технического зрения позволяет учитывать комплекс индивидуальных факторов: наличие и распределение внутренних и наружных дефектов; геометрические параметры и особенности огранки камня.

Для проведения экспериментальных исследований были использованы образцы бриллиантов весом до 0,5 карата (рис.1).

Выбранные камни имели низкое качество, т.е. достаточное количество различных дефектов (вкрапления графита, цветные включения, трещины). Изображения различных ракурсов камней получалось путем оптического проектирования изображения на цифровой сенсор под определенным углом визирования цифровой камеры к оптической оси камня (рис.2). Для этого была использована цифровая фотокамера Canon EOS 40D с объективом Canon 50/1.4 EF USM (*f*/1.4-*f*/22), которая имела режим потокового видео (LiveView) для просмотра изображения и возможность проводного и беспроводного управления параметрами съемки с компьютера. Режим работы с поднятым зеркалом обеспечивал высокую механическую стабильность системы регистрации и позволял вести съемку при малых относительных отверстиях объектива (больших выдержках), что позволяло получить достаточную глубину резкости пространства предметов.

Оптическая схема регистрации позволяла вести исследования двух видов: при большом относительном отверстии объектива (малой глубине резкости) – исследова-

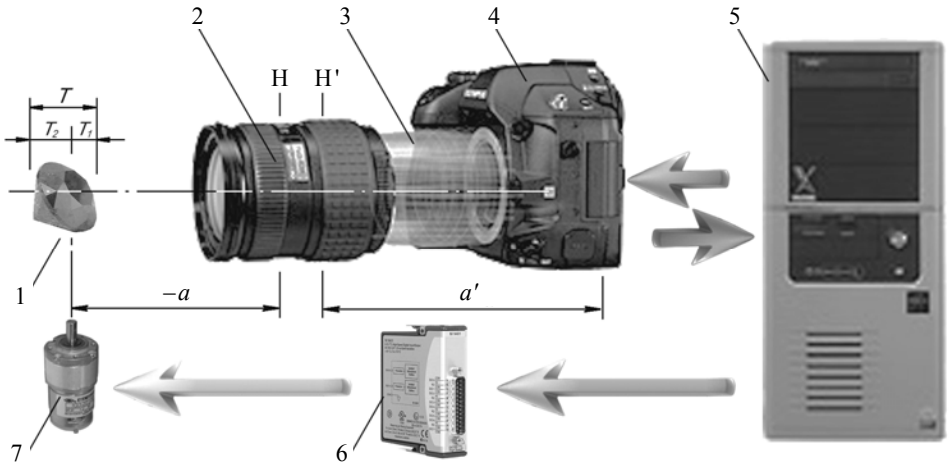


Рис.2. Схема контроля бриллиантов

1 – контролируемый бриллиант; 2 – объектив; 3 – удлинительный тубус; 4 – цифровая камера; 5 – компьютер; 6 – DAQ устройство управления позиционированием бриллианта; 7 – электропривод с энкодером

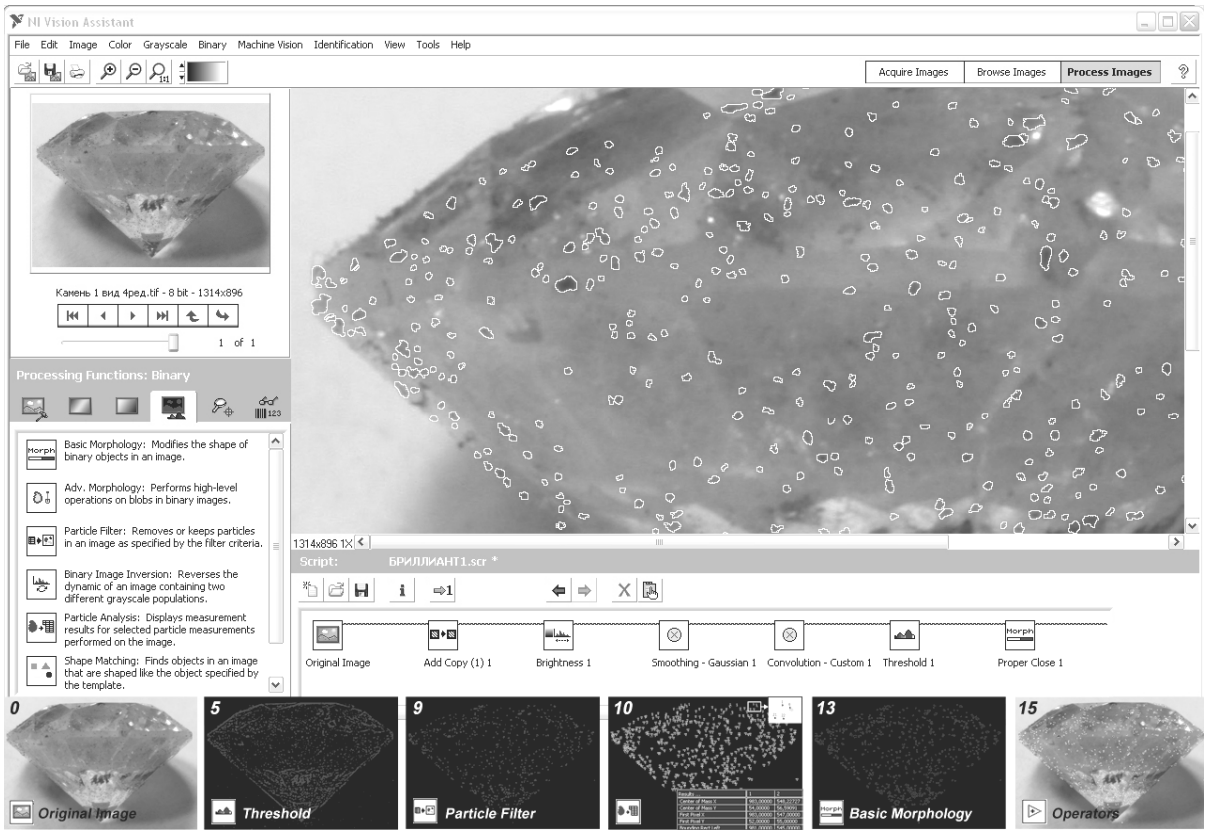


Рис.3. Интерфейс NI Vision Assistant и этапы обработки изображения

ния внутреннего распределения дефектов, при малом относительном отверстии – совокупную характеристику дефектности по поверхности или внутри кристалла (предполагается, что регистрация производится нормально к передней грани).

Используемая оптическая схема при минимальном числе $f = 1{,}4$ (f'/D) дает глубину резкости порядка 40 мкм, при максимальном $f = 22\text{-}0{,}6$ мм. Для увеличения глубины резкости производилась серия фотоснимков с пошаговым сканированием плоскости фоку-

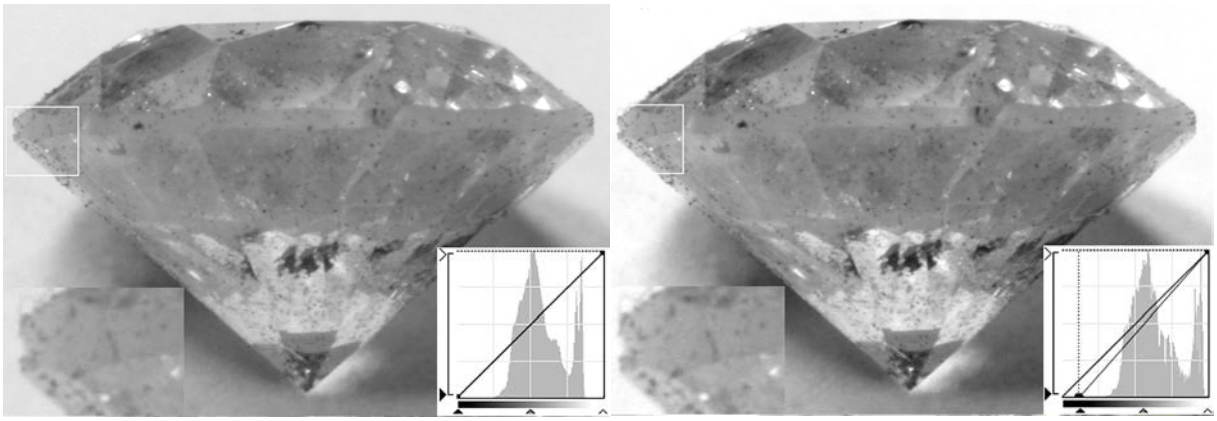


Рис.4. Выравнивание изображения в режиме D-Lighting

сировки. Далее в какой-либо программе, например PhotoAcute Studio, основанной на локальном анализе Фурье, создавалось из серии изображений результирующее изображение с расширенным диапазоном ГРИП.

Наиболее полная индивидуальная идентификация камня может производиться по его дефектам (например, по вкраплениям графита). Разработка и отладка скрипта ВП выявления вкраплений и их координат производилась в приложении NI Vision Assistant 8.6 (рис.3), который впоследствии преобразовывался в ВП контроля.

Скрипт выделения и идентификации дефектов состоит из последовательности функций обработки изображения и измерения дефектов: Color Plane Extraction; Image Buffer; Brightness (B = 190, C = 50, G = 1); Filters (Smoothing Median, Kernel Size 5 × 5); Filters (Convolution – High Level Detail, Kernel Size 3 × 3); Threshold (Background Correction, Kernel Size:Width 8, Height 8); Basic Morphology (Proper Close, Size 3 × 3); Adv. Morphology (Fill Holes); Adv. Morphology (Remove Border Objects); Particle Filter (Area); Particle Analysis; Operators (Multiply); Operators (Add).

Первая группа функций (Brightness, Filters) улучшает исходное изображение, подготавливая его в перевод в битовое. Исследования подтвердили, что изменение яркости и контрастности деструктивно для структуры изображения. В качестве иллюстрации этого факта изображения были обработаны с целью выравнивания освещенности (режим D-Lighting в программе Capture NX, аналогичный эффект можно получить при съемке на цифровую камеру Nikon D300 или D3). Выровненное по освещенности (расширение динамического диапазона распределения пикселей) изображение (Adjustment = 50) после обработки визуально улучшает проработку деталей, однако дает худший результат измерений (рис.4).

Пороговая обработка определяет выделение определенных элементов структуры изображения. Она имеет достаточное количество режимов выделения, в том числе автоматического определения порога. Наряду с функцией пороговой обработки на количество и вид элементов структуры влияет функция обработки Particle Filter, которая выделяет интересующие элементы структуры. Функция Particle Analysis формирует массив результатов измерения элементов структуры. Для измерения были выбраны восемь параметров: Center of Mass X; Center of Mass Y; Bounding Rect Width; Bounding Rect Height; Bounding Rect Diagonal; Perimeter; Area; Orientation.

Исследования показали, что представленный алгоритм мало чувствителен к параметрам цифровой регистрации и условиям освещения. Даже световые блики на гранях от прямого освещения не оказывают особого влияния на результаты контроля. Разработанный скрипт обработки и измерения в программе NI Vision Assistant позволяет создать базовый ВП контроля.

Результаты проведенных исследований показали возможность создания на базе ком-

пьютерных технологий фирмы National Instruments высокоэффективных средств контроля и идентификации бриллиантов. Использование цифровой регистрации с компьютерным управлением параметрами съемки и режимом потокового видео позволяет получить высокое качество фотоматериала и автоматизировать процесс его получения и последующей обработки. Идентификация дефектов камня практически уникальна, она легко может быть наложена на трехмерную модель.