

УДК 005.8

**Инструмент KPI и методология AGILE: Современные подходы в управлении проектами / Шатоха О. В.** // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 38 (1011). – С.65-70. – Бібліогр.: 8 назв.

В управлінні проектами в сучасному бізнес-середовищі необхідно приділяти велику увагу ефективності роботи команди. Аналізуючи інструменти та методології, що використовують у сучасній практиці бізнес-планування, автор розглядає KPI як ефективний інструмент відстеження результативності роботи команди і Agile як підхід до управління проектами, який є гнучким і орієнтованим на комфортність умов роботи. Бібліогр.: 8. назв.

**Ключові слова:** Agile, KPI, ключові показники ефективності, команда проекту, персонал проекту, ефективність команди.

The subject of the paper is modern approaches of project management, in particular KPI tool and Agile methodology. The aim of this work is to review some tools and approaches applied in today's project and team management practice.

**Keywords:** Agile, KPI, project team, project personnel, team efficiency.

УДК 681.7.08

**В. В. ЛЕДОВСКОЙ**, студент, ХНУРЭ, Харьков;

**П. М. ДУМИН**, студент, ХНУРЭ, Харьков

## **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ ПО ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ КАРТИНЕ**

В работе создан программный комплекс «Рельеф 3D» для автоматизированной обработки интерференционных картин. Комплекс протестирован на модельных объектах и апробирован на примере анализа состояния поверхности рельефа. По сравнению с аналогами, программный комплекс «Рельеф 3D» обладает рядом преимуществ при исследовании образцов.

**Ключевые слова:** интерферометрия, интерференционная картина, трехмерная модель рельефа, программный комплекс

**Введение.** Интерференционные методы исследования применяются в самых разнообразных областях науки и техники. Высокая чувствительность и информативность интерференционных измерений, их бесконтактность и безинерционность, возможность использования в качестве меры длины световой волны определили обширные возможности их использования. Главная особенность оптических измерений заключается в том, что они имеют высокую точность и наглядность [1].

Для изучения поверхностей твердых тел существует множество методик, применяемых в зависимости от поставленной задачи. Интерференционная микроскопия является эффективным аналитическим инструментом для бесконтактного изучения поверхностной морфологии. В последние годы методы интерферометрии интенсивно развиваются для контроля микрорельефа, деформации и чистоты металлических поверхностей. Оценить размеры повреждений можно благодаря высокой чувствительности и точности интерференционных приборов.

**Постановка проблемы.** Для понимания влияния различных форм рельефа на вид интерференционной картины и для аттестации алгоритмов их обработки

© В. В. ЛЕДОВСКОЙ П. М. ДУМИН, 2013

необходимо уметь моделировать интерференционную картину по заданному рельефу и особенностям прибора. Модель должна учитывать, по возможности, все факторы, влияющие на формирование реальной интерференционной картины. Моделирование заключается в получении интерференционной картины по имеющемуся рельефу поверхности.

Задача состоит в разработке математического алгоритма, основной особенностью которого является адаптация к различным видам интерференционных картин и подстройка алгоритма под каждую без вмешательства экспериментатора.

При интерполяции поверхностей важно, насколько точки исходных данных должны влиять на поверхность в области их расположения (т.е. локально) и как это влияние должно распространяться на удаленные участки поверхности (глобально). Области, не содержащие исходных данных, должны получить значения в результате экстраполяции, результат которой отражал бы общие закономерности изменения поверхности (тренды).

**Постановка задачи.** Целью работы является разработка математического и программного обеспечения для автоматизированного восстановления рельефа поверхности с помощью компьютерной обработки фотографий интерференционной картины. В отличие от известных аналогов [2] разработано web математическое приложение, доступ к которому будет возможен в любой момент времени из любой точки мира.

**Анализ исследований и публикаций других ученых.** Рассмотрим публикации ученых, которые обработали интерференционную картину с помощью других методов:

1. Железин А.А. использовал методы обработки спектрометрических данных в системе анализа спектра излучения перестраиваемого лазера с использованием акустооптического фильтра. В работе [3] предложен возможный вариант структуры системы, определяющей с высокой точностью спектр излучения быстродействующего перестраиваемого лазера.

2. Метод муаровых полос для обработки интерферограмм в полосах конечной ширины. Анализ и обработка таких интерференционных полос усложняется и сопровождается существенными ошибками. Муаровый метод заключается в вычитании фотографий картины несущих интерференционных полос без объекта и картины полос с объектом и в наблюдении образующейся картины муаровых полос. Форма и период этих полос качественно и количественно отражают оптические параметры фазового объекта. Для эффективной реализации муарового метода необходимо иметь несущие полосы как можно меньшего периода  $\Lambda$ . Однако при этом система полос должна разрешаться используемой фотографической системой.

**Моделирование интерференционной картины (прямая задача).** В случае идеально гладкой и плоской поверхности образца интерференционная картина представляет собой последовательность параллельных чередующихся темных и светлых полос, расстояние, ширина и направление которых определяются параметрами прибора, могут изменяться.

При наличии на поверхности образца каких-либо отклонений от плоскости ход полос искажается. На рис.1 показана интерференционная картина, соответствующая образцу, поверхность которого представляет собой плавную

ступеньку. Параметрами интерференционной картины являются:  $b$ -расстояние между центрами  $T$  соседних полос, совпадающих с экстремальным значением интенсивности (min-для темных и max-для светлых полос);  $a$ - смещение полосы - расстояние между экстремумами  $T$  и  $T_i$ .

Плавная ступенька на интерференционной картине приводит к изгибу интерференционных полос. Чем круче перепад высот на поверхности, тем чаще смещаются в сторону полосы.

Моделирование заключается в получении интерференционной картины по имеющемуся рельефу поверхности. При моделировании идеальной интерференционной картины форма поверхности задается функцией  $S(x, y)$ , и

интенсивностью  $I(x, y)$  рассчитывается согласно следующему из выражения:

$$I(x, y) = 4I'_{const} \cos^2 \left( \frac{\pi(\Delta_{const} + S(x, y))}{\lambda} \right), \quad (1)$$

где  $4I'_{const}$  -максимальное значение интенсивности моделируемой интерференционной картины.

На рис.2 показано сечение распределения интенсивности на реальной интерференционной картине (закрашенная область) и идеальные данные с тем же периодом (сплошная линия).

На рис.3 показан срез освещенности поля зрения прибора, и его математическая модель в виде распределения Коши.

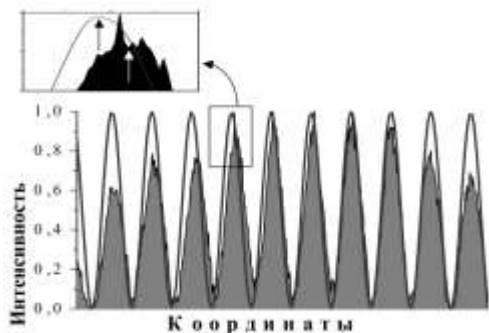


Рис. 2 - Сечение распределения интенсивности по полю интерференционной картины. Вставка: смещение экстремумов в увеличенном масштабе

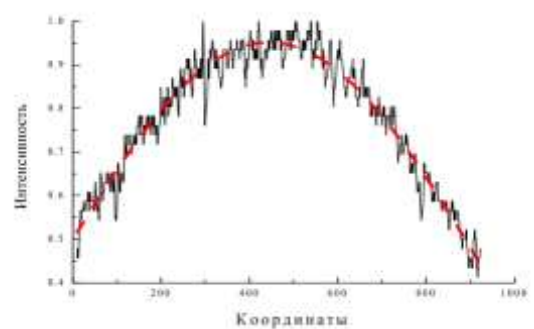


Рис. 3 - Распределение интенсивности освещенности прибора (сплошная кривая) и аппроксимация распределением Коши (пунктир)

Двумерное распределение Коши имеет следующий вид :

$$\Phi(x, y) = f(x) \cdot f(y) = \frac{\theta^2}{\pi^2} \left[ \frac{1}{\theta^2 + [x - \eta]^2} \right], \theta > 0,$$

где  $\eta$  -медиана распределения,  $\theta$  -параметр масштаба.

Кроме того, на интерференционную картину накладываются случайные факторы, связанные с белым шумом ПЗС - матрицы, источника и др. Это также

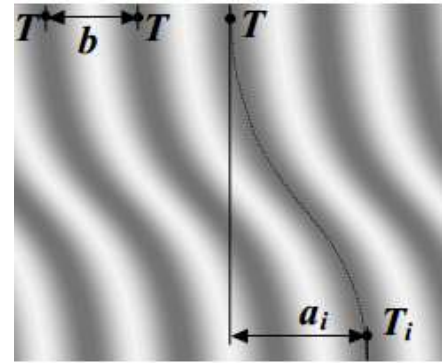


Рис. 1 - Интерференционная картина, соответствующая поверхности с плавной ступенькой:  $a$  – смещение полосы на неровности,  $b$  – ширина полосы

аддитивная помеха, которую можно моделировать двумерным случайным гауссовым полем.

Таким образом, математическая модель интерференционной картины, учитывающая все перечисленные факторы, имеет вид:

$$I(x, y) = 4I'_{const} \cos^2\left(\frac{\pi(\Delta_{const} + S(x, y))}{\lambda}\right) + \Phi(x, y) + n(x, y) \quad (2)$$

Где первое слагаемое – вклад от идеальной картины,  $\Phi(x, y)$  – функция неоднородности освещения,  $n(x, y)$  – белый шум.

Построенная математическая модель и разработанный по ней алгоритм позволяют проводить моделирование интерференционной картины по заданным параметрам микротерферометра, длине волны и функции, задающей поверхность, а также таким характеристикам, как амплитуда шума регистрирующей ПЗС - матрицы и неоднородность поля.

**Восстановление профиля поверхности (обратная задача).** Обратная задача состоит в восстановлении микрорельефа поверхности по ее интерференционной картине. При этом на точность обработки интерференционной картины и восстановление поверхности в большой степени влияет качество самого изображения.

Основной проблемой при решении подобных задач, является наличие существенного уровня искажения интенсивности различных участков интерференционной картины. Созданные алгоритмы обладают высокой устойчивостью к подобным искажениям благодаря использованию специальных математических методов.

Подготовительный этап состоит из предварительной обработки фотографии (кадрирование, яркость и контраст). Уточнение экстремума интерференционной полосы методом квадратичной аппроксимации. Для уточнения экстремума полосы  $T$  использован метод аппроксимации параболой по  $N$  точкам – используются значения интенсивности нескольких точек вблизи предполагаемого экстремума полосы.

Уточнение экстремума интерференционной полосы методом квадратичной аппроксимации. Для уточнения экстремума полосы  $T$  использован метод аппроксимации параболой по  $N$  точкам [5] – используются значения интенсивности нескольких точек вблизи предполагаемого экстремума полосы (точки  $T$  на рис. 5).

Прогнозирование смещения

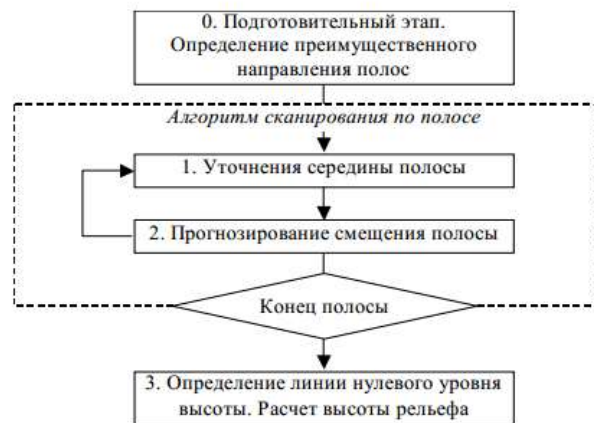


Рис. 4 – Блок - схема алгоритма

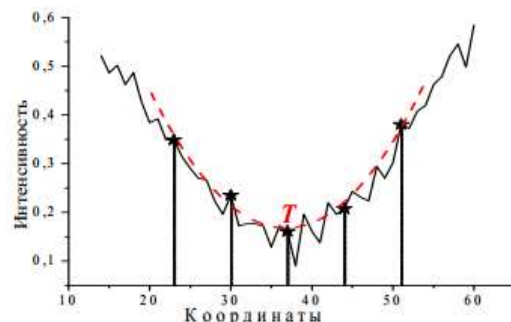


Рис. 5 - Распределения интенсивности по профилю полосы (сплошная кривая) и аппроксимация параболой (пунктир) для уточнения экстремума  $T$  полосы по пяти точкам

экстремума полосы в следующей точке. После нахождения экстремума полосы строится прогноз положения следующей точки. Прогнозирование позволяет: 1) отслеживать достаточно резкие изменения направления хода полос и тем самым обрабатывать полосы практически любой конфигурации; 2) делает метод устойчивым к выбросам отдельных точек, связанным с шумами или локальными дефектами на поверхности образца.

Процедура прогнозирования проиллюстрирована на рис.6 и состоит в следующем:

1. Последние  $M$  найденных точек  $T_i(x_i, y_i)$ , ( $i=0..M-1$ ), переводятся в полярные координаты  $T_i(\rho_i, \varphi_i)$ , ( $i=0..M-1$ ), с центром в точке  $T_0$  преобразованием:

$$\rho_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$$

$$\begin{cases} \rho_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2} - \rho_0 \\ \varphi_i = \arctg \frac{x_i}{y_i} \end{cases}$$

2. Далее прогноз координат следующей точки  $T^*(\rho^*, \varphi^*)$  строится из соотношений:

$$\rho^* = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^{M-1} \rho_i; \quad \varphi^* = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^{M-1} \varphi_i$$

и выполняется обратное преобразование  $T^*$  в декартовы координаты  $T^*(x^*, y^*)$ :

$$\begin{cases} x^* = \rho^* \cos \varphi^* \\ y^* = \rho^* \sin \varphi^* \end{cases}$$

Координаты  $(x^*, y^*)$  являются прогнозом положения следующей центральной точки полосы, которая затем уточняется (см. шаг 1). Описанная процедура прогноза математически эквивалентна линейной экстраполяции последовательности точек  $T_i$ , ( $i=0..M-1$ ). По описанному алгоритму обрабатываются все полосы на интерференционной картине.

3. Когда полосы найдены, надо определить нулевой уровень высоты, соответствующий плоскости, от которой будет отсчитываться изменение высоты поверхности (Рис.7). Для каждой полосы за нулевой уровень принимается линия, являющаяся касательной к интерференционной полосе, полученная в результате аппроксимации первых  $n$  точек уже уточненного экстремума полосы. Эта линия нулевого уровня  $TP$  находится в виде уравнения  $kx+dy+q=0$ , где  $k$ ,  $d$  и  $q$  – коэффициенты уравнения прямой.

Высота точки рельефа восстанавливаемой поверхности на линии  $TP$  принята за нулевой уровень. Высоты встреченных неровностей отсчитываются относительно этого нулевого уровня.

Расчет рельефа (смещение точки относительно нулевого уровня поверхности) производится по формуле:

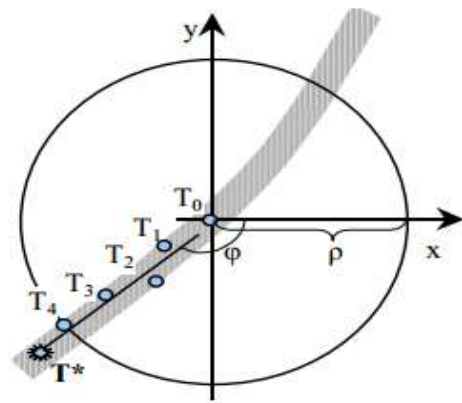


Рис. 6 - Иллюстрация прогноза по  $M=5$  точкам

$$h_i = \frac{\lambda a_i}{2b},$$

где  $h_i$  – значение относительной высоты поверхности для каждой точки  $i$  полосы интерференции,  $a_i$  – расстояние между двумя точками  $P(x_p, y_p)$  и  $T_i(x_T, y_T)$  (Рис.3.5),  $b$  – усредненное значение ширины полосы интерференции. По такому принципу находится изменение высоты рельефа поверхности вдоль каждой из интерференционных полос.

Просмотр моделей рельефа поверхностей в режиме реального времени - он-лайн просмотр моделей рельефа поверхностей осуществляется с помощью библиотеки three.js.

Three.js JavaScript 3D library это функциональная библиотека с невысоким уровнем сложности, предоставляет <canvas>, <svg>, CSS3D WebGL и средства визуализации.

В приложении была реализована функция function GetSurfacePoints(), которая асинхронно обращается к веб серверу и получает массив координат  $x, y, z$  точек в формате JSON, из которых, с помощью библиотеки three.js, строится поверхность и добавляется на так называемую сцену.

**Выбор алгоритмов для построения поверхности.** Построение поверхности применяется алгоритмы интерполяции по обратному средневзвешенному расстоянию

Интерполяция/аппроксимация по обратному средневзвешенному расстоянию – это способ многомерной интерполяции на нерегулярной сетке.

В функции idwbuildmodifiedshepardr реализован модифицированный метод Шепарда: интерполяция на неравномерной сетке.

Модифицированный интерполянт имеет вид:

$$f(x) = \frac{\sum_{i \in K} W_i(x) Q_i(x)}{\sum_{i \in K} W_i(x)}, \quad |K_x| = N_w < N \quad (1)$$

$$W_i(x) = \left( \frac{R_x - \|x - x_i\|}{R_x \|x - x_i\|} \right)^2, \quad R_x = \max_{i \in K} \|x - x_i\| \quad (2)$$

$$Q_i(x) = x^T A x + b^T x + c, \quad A \in R^{D \times D}, \quad b \in R^D, \quad c \in R^D \quad (3)$$

Модифицированный метод Шепарда отличается от оригинального алгоритма тем, что: для интерполяции используется подмножество точек  $K$  мощностью  $N_w$  – множество  $N_w$  ближайших соседей точки  $x$ .

IDW интерполянт использует модифицированный метод Шепарда для неоднородных данных. Он может быть использован, когда точка распространения неоднородна в небольших масштабах, но это на расстояниях такого размера, как  $R$ .

**Полиномиальная интерполяция.** Полиномиальная интерполяция является наиболее известным из методов одномерной интерполяции. Её достоинствами являются простота реализации и хорошее качество получаемых интерполянтов.

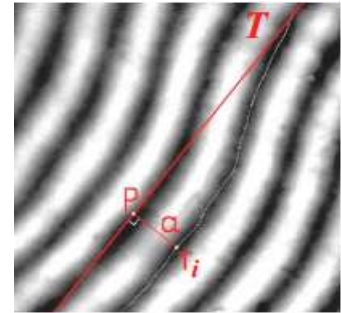


Рис. 7 - Линия нулевого уровня TP и перпендикуляр  $a$ , проведенный к ней из текущей точки расчета высоты  $T_i$ , принадлежащей полосе

Известно, что любая рациональная функция может быть представлена в барицентрической форме:

$$r(x) = \frac{\sum_{j=0}^N \frac{w_j}{x - x_j} y_j}{\sum_{j=0}^N \frac{w_j}{x - x_j}}$$

Для тестирования программного комплекса проведен численный эксперимент.

Построена модель идеальной поверхности с изначально заданной высотой ступеньки  $h$  и соответствующая ей «идеальная» интерференционная картина (рис.8а). Данная интерференционная картина была загружена в программный комплекс в качестве входящих данных. В результате работы программного комплекса была построена поверхность (рис.8б) соответствующая «идеальной», с погрешностью высоты  $\Delta h$ .

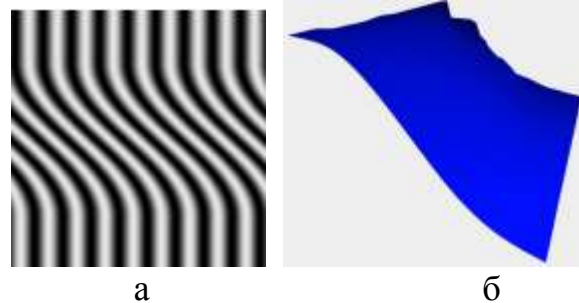


Рис. 8 - «Идеальная» интерференционная картина (а) и поверхность соответствующая «идеальной» (б)

На рис.9 дана зависимость погрешности  $\Delta h$  определения высоты ступеньки от амплитуды шумовой составляющей в процентах от максимальной амплитуды сигнала. Точками показаны усредненные значения погрешности определения высоты ступеньки в интервале амплитуд шума  $0 \div 20\%$ . Из рисунка следует, что в приведенном интервале амплитуды шума зависимость усреднённой погрешности от амплитуды шума хорошо описывается выражением:

$$\Delta h = \Delta h_0 + Ae^{n/t}$$

$$\Delta h_0 = -1,3 \cdot 10^{-4}, A = 0.002, t = 10.8 \quad (9)$$

Исследования показали, что амплитуда шума  $\leq 15\%$  позволяет программе правильно обрабатывать интерференционную картину без дополнительных улучшений качества изображения.

Следует отметить, что в большинстве проводимых измерений точность, с которой восстанавливается поверхность ( $\Delta h \leq 0.5\%$ ) в пределах  $20\%$  зашумленности изображения, является достаточной. В случае более высокого уровня шума требуется дополнительная предварительная обработка изображения. Среднеквадратичная ошибка определения высоты профиля (повторяемость результатов) составляет  $\sim \lambda/200$ .

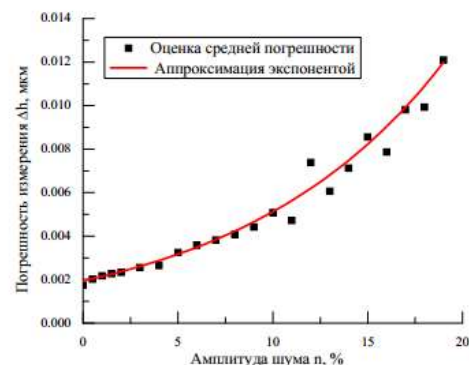


Рис. 9 - График усредненных значений погрешности определения высоты ступеньки (точки) в зависимости от амплитуды шума на интерференционной картине (сплошная линия – аппроксимация экспонентой, согласно выражению (9))

**Выводы.** В результате разработки проекта с использованием языка программирования C # и среды разработки Microsoft Visual Studio 2010 было

создано программное обеспечение для автоматизированного восстановления рельефа поверхности с помощью компьютерной обработки фотографий интерференционной картины.

Было создано программное обеспечение web-портал, который выполняет следующие функции: он-лайн просмотр моделей рельефа поверхностей; выбор алгоритмов обработки входных данных; отражение информации о модели; хранение проанализированных ранее моделей; экспорт модели для использования в режиме оф-лайн.

Создание сервиса построения модели рельефа в рамках интернет - портала дает множество преимуществ как для рядовых пользователей изучающих технологии моделирования, так и для частных компаний проводящих георазведку участков рельефа в коммерческих целях: отпадает необходимость в специально настроенном и установленном ПО; повышается достоверность сведений о модели рельефа и, соответственно, количество обращений к ним; снижаются временные и стоимостные затраты на получение моделей и информации и, в целом, повышается качество предоставления услуг.

Развитие сервиса построения рельефа в этих направлениях позволит повысить инвестиционную привлекательность различных отраслей промышленности и усовершенствовать информационное взаимодействие между органом кадастрового учета, частными коммерческими организациями и частными лицами, заинтересованными в получении качественных моделей рельефа.

**Список литературы:** 1. *Belyaeva A. L., Bardamid A. F., Davis J. W., Haasz A.A., et al., Hydrogen ion bombardment damage in stainless steel mirrors // JNM 345 (2005) 101-108* 2. *Гаверилин Д. А. Исследование методов описания формы сложных оптических поверхностей при интерферометрическом контроле, Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – СПб: СПбГУ ИТМО, 2003.* 3. *Железин А. А., Кольцов И. М., Рыбин В. М., Соболев С. С. Система измерения и анализа спектра излучения перестраиваемого лазера // Тезисы докладов IX Межд. науч.-техн. конференции "Датчик-97", С.278-279.* 4. *Стельмах М. Ф., Дмитриев В. Г. и др. Перестраиваемые лазеры и лазерные спектральные приборы с использованием акустооптических фильтров // Журнал прикладной спектроскопии. Т. XL. Вып. 2, февраль 1984 г. С.181-189.* 5. *Ландсберг Г. С., Оптика – М.: Физматлит, 2003. – 848 с.*

*Поступила в редколлегию 01.06.2013*

УДК 681.7.08

**Программное обеспечение для построения цифровой модели рельефа поверхности по интерференционной картине/ В. В. Ледовской П. М. Думин // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 38 (1011). – С.70 - 77 . – Бібліогр.: 5 назв.**

У роботі створено програмний комплекс «Рельєф 3D» для автоматизованої обробки інтерференційних картин. Комплекс протестований на модельних об'єктах і апробований на прикладі аналізу стану поверхні рельєфу. У порівнянні з аналогами, програмний комплекс «Рельєф 3D» має переваги при дослідженні зразків.

**Ключові слова:** інтерферометрія, інтерференційна картина, тривимірна модель рельєфу, програмний комплекс

In a program was created complex "Relief 3D» for automated processing of interference patterns. The complex is tested on model objects and tested on the example of the analysis of the surface topography. Compared to peers, program complex "Relief 3D» has several advantages in the study samples.

**Keywords:** interferometry, the interference pattern, three-dimensional terrain model software system.