

# Цифровая мера для метрологического обеспечения видеоизмерительных систем

*В. Л. Минаев, Г. Г. Левин, Г. Н. Вишняков, А. А. Голополосов*

Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений, Москва, Россия

В настоящей работе рассматривается вопрос создания цифровой меры для поверки (калибровки) видеоизмерительных систем на базе цифрового монитора. Описана методика передачи единицы длины на такую меру с помощью оптической системы (камеры с объективом) и эталонного интерферометра перемещений. Использование алгоритма субпиксельной обработки изображения и интерполяции сигнала позволяет повысить точность калибровки и снизить влияния геометрических aberrаций оптической системы на результаты измерений.

*Ключевые слова:* Метрология, Цифровая мера, Длина, Монитор.

*Цитирование:* **Минаев, В. Л.** Цифровая мера для метрологического обеспечения видеоизмерительных систем / В. Л. Минаев, Г. Г. Левин, Г. Н. Вишняков, А. А. Голополосов // HOLOEXPO 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 242–245.

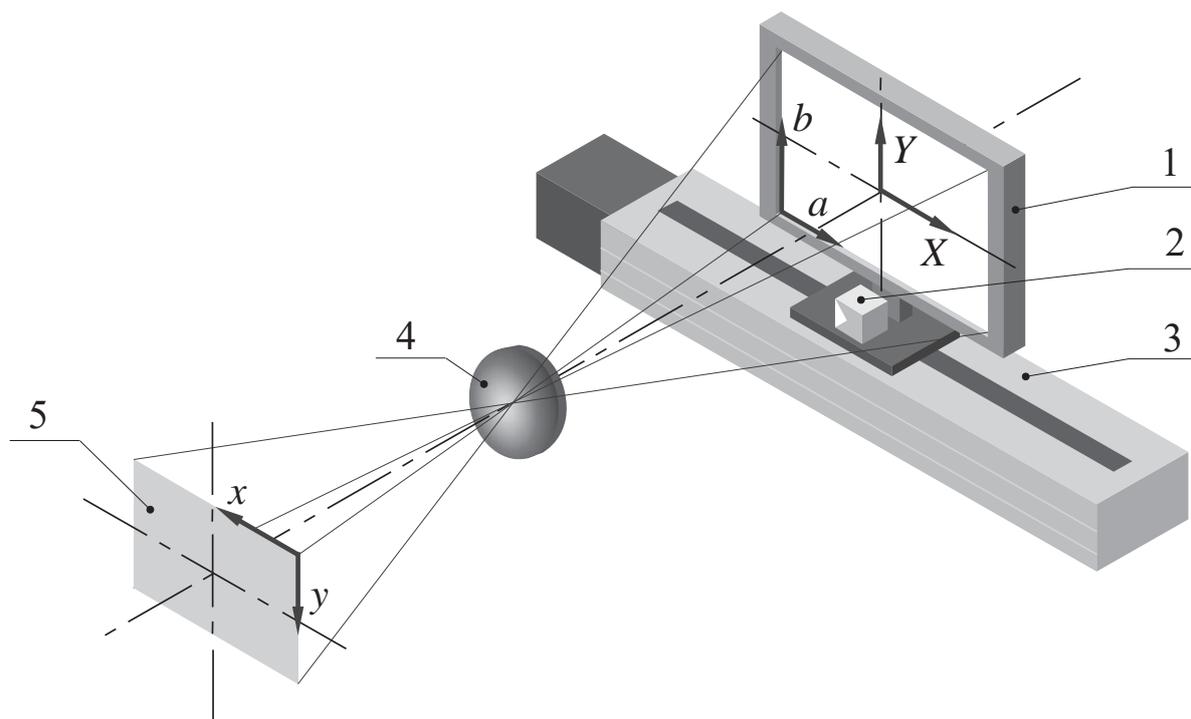
В настоящее время широко распространяются средства измерений, основанные на обработке видеоизображений или видеоизмерительные системы (ВИС), а в Федеральный информационный фонд вводятся новые средства бесконтактных измерений длины [1]. В первую очередь можно подчеркнуть 2D ВИС — проекционные системы, видеомикроскопы, различные комплексы видеофиксации, а также 3D измерительные ВИС, на основе триангуляции в структурированном свете и видеограмметрические.

В соответствии с государственной поверочной схемой (ГПС) для средств измерений длины, поверка таких ВИС осуществляется путем сравнения с мерой длины, в качестве которой выступают штриховые меры, концевые меры, специализированные меры и рулетки [2, 3]. Как правило такие меры ограничены по диапазону измерения и обеспечивают измерение лишь по одной координате (1D мера).

Перспективным направлением развития таких эталонов является создание цифровых мер на базе дисплея монитора (2D мера) Высокая точность изготовления матриц мониторов и возможность вывода на них различной информации от компьютера позволяет использовать их в качестве гибкого инструмента для оценки различных параметров ВИС: разрешающей способности, частотно-контрастных характеристик, оценки геометрических искажений и пр. Причем такие измерения могут проводиться не только в статическом, но и динамическом режиме. Однако для использования цифровых мониторов в качестве мер необходимо, чтобы расстояния между отдельными пикселями были откалиброваны.

В настоящей работе рассматривается вопрос создания цифровой меры для поверки (калибровки) ВИС на базе цифрового монитора, а также методика передачи единицы длины на такую меру с помощью эталонного интерферометра перемещений.

Суть калибровки цифровых мер на основе монитора заключается в передаче единицы длины от интерферометра перемещения на пиксели монитора. Для этого может быть использована представленная на рис. 3 измерительная схема (рис. 1). Для этого на каретку вместе с уголковым отражателем 2 параллельно оси перемещения каретки устанавливается монитор 1. Перед монитором ставится видеоизмерительная система, состоящая из объектива 4, формирующего изображение на фотоприёмной матрице 5 видеокамеры.



1 – калибруемый монитор; 2 – уголковый отражатель; 3 – транслятор; 4 – оптическая система; 5 – фотоприёмная матрица.

**Рис. 1.** Схема калибровки монитора

Для дальнейшего описания методики в полученной схеме рассмотрим три системы координат (СК):

- Система координат изображения, выводимого на калибруемый монитор 1. Назовем её «СК монитора» и обозначим как  $aOb$ . Ось  $Oa$  лежит вдоль горизонтальной стороны монитора, а ось  $Ob$  вдоль вертикальной.

- Система координат транслятора 2. Назовем её «СК объекта» и обозначим как  $XOY$ . Ось  $OX$  направлена вдоль оси перемещения, а ось  $OY$ , в идеальном случае, лежит параллельно плоскости  $aOb$ .

- Система координат изображения, формируемого на фотоприёмной матрице объективом. Назовем её «СК камеры» и обозначим как  $xOy$ .

В СК монитора  $aOb$  определяется набор точек  $G_{i,j} = (i \cdot \Delta_m, j \cdot \Delta_m)$  разбивающий матрицу монитора на точечную сетку с известным в пикселях расстоянием  $\Delta_m$  между соседними элементами. Назовем  $G_{i,j}$  множеством контрольных точек. В процессе калибровки определяются расстояния  $\delta X_{i,j}$  между соседними контрольными точками  $G_{i,j}$  и  $G_{i+1,j}$  в СК объекта  $XOY$ .

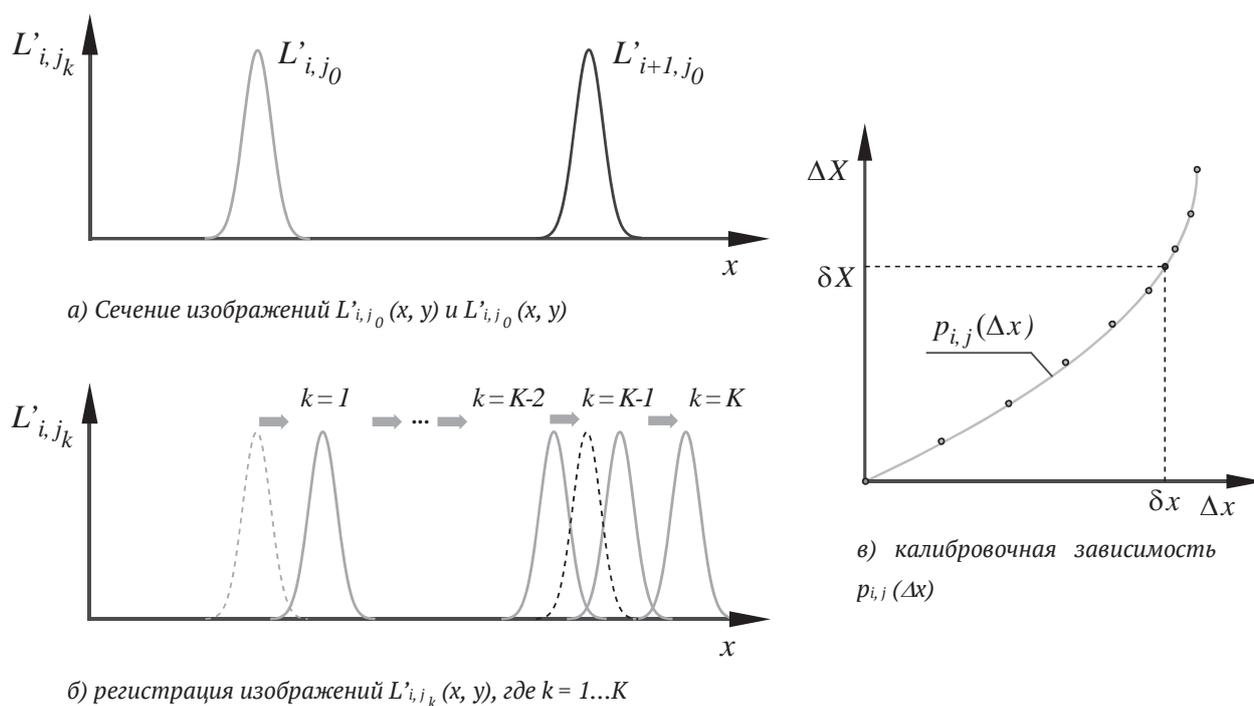
Рассмотрим алгоритм вычисления расстояния  $\delta X_{i,j}$  для некоторых двух точек  $G_{i,j}$  и  $G_{i+1,j}$ :

1) На монитор последовательно выводятся изображения  $L_{i,j}(a, b)$  и  $L_{i+1,j}(a, b)$  распределение яркости в которых определяется выражением:

$$L_{i,j}(a, b) = H \cdot \exp[-(\alpha(a - i \cdot \Delta_m)^2 + \beta(b - j \cdot \Delta_m)^2)],$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  — постоянные коэффициенты;  $H$  — максимальная разрядность системы вывода изображения ( $H = 255$ ). Область определения данной функции:  $a = [1 \dots A]$  и  $b = [1 \dots B]$ , где  $A \times B$  — разрешение монитора.

2) Матрицей камеры фиксируются соответствующие изображения  $L'_{i,j_0}(x, y)$  и  $L'_{i+1,j_0}(x, y)$  (рис. 2а).



**Рис. 2.** Процесс построения калибровочной кривой

3) С помощью корреляционного алгоритма [4] вычисляется смещение  $\delta x_{i,j}$  в СК камеры между изображениями  $L'_{i,j_0}(x, y)$  и  $L'_{i+1,j_0}(x, y)$ . Использование такого алгоритма позволяет вычислить расстояние с точностью до десятых долей пикселя (субпиксельное разрешение).

4) С помощью транслятора каретка с монитором и уголковым отражателем смещается вдоль оси  $OX$  на величину  $\Delta X$ , которая определяется с помощью интерферометра перемещения (на рис. 1 не указан). На монитор выводится изображение  $L_{i,j}(a, b)$  и с камеры получаем смещенное изображение  $L'_{i,j_1}(x, y)$ . Затем монитор еще раз смещается на величину

$\Delta X$  и операция повторяется. Так происходит  $K$  раз до тех пор, пока суммарное смещение не станет больше предполагаемого расстояния между контрольными точками. Таким образом для каждого  $k \cdot \Delta X$  получаем ряд изображений  $L'_{i,j_k}(x, y)$ , где  $k = 0 \dots K$  (рис. 2б).

Для каждого изображения  $L'_{i,j_k}(x, y)$  корреляционным алгоритмом также вычисляется смещение  $\Delta x_{i,j_k}$  в СК камеры относительно начального положения  $L'_{i,j_0}(x, y)$ .

Строится калибровочная кривая (рис. 2в): зависимость  $k \cdot \Delta X = f(\Delta x_{i,j_k})$ , которая определяет соответствие между СК камеры и СК объекта.

Построенная кривая аппроксимируется полиномом  $p_{i,j}(\Delta x)$  второго порядка. Полученная зависимость используется для определения расстояния между контрольными точками в СК объекта:

$$\delta X_{i,j} = p_{i,j}(\delta x_{i,j})$$

Особенность представленной методики калибровки заключается в достижении высокой точности за счет использования субпиксельного разрешения, а также снижения требований к геометрическим aberrациям оптической системы за счет аппроксимации полученных данных.

### Список источников

- [1] Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений / URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry>
- [2] **Челпанов И. Б., Прямыцын И. Б., Кочетков А. В.** Метрологическое обеспечение лазерных измерительных 3D-сканеров // Законодательная и прикладная метрология. — 2016. — №6 (145) — С. 26–31.
- [3] **Приказ №2840.** Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.12.2018 г.
- [4] **Левин Г. Г., Илюшин Я. А., Минаев В. Л., Моисеев Н. Н.** Определение наноперемещений объекта по оптическому фазовому изображению // Измерительная техника. — 2010. — №7. — С. 38–42.

## Digital standard for metrological support of video measuring systems

*G. N. Vishnyakov, V. Minaev, G. Levin, A. Golopolosov*

FGUP VNIIOFI, Moscow, Russia

In this paper, we consider the issue of creating a digital standard for verification (calibration) of video measuring systems based on a digital monitor. A technique for transferring a unit of length to such a standard using an optical system (a camera with a lens) and a reference displacement interferometer is described. The use of the algorithm of subpixel image processing and signal interpolation makes it possible to increase the accuracy of calibration and reduce the influence of geometric aberrations of the optical system on the measurement results.

*Keywords:* Digital standard, Video measuring systems, Displacement interferometer.