



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012136314/28, 22.08.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.08.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.08.2012

(43) Дата публикации заявки: 27.02.2014 Бюл. № 6

(45) Опубликовано: 10.06.2014 Бюл. № 16

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2438119 C1, 27.12.2011. RU 2262112 C2, 10.10.2005. RU 2442218 C1, 10.02.2012. SU 654906 A, 30.03.1979. US 6992756 B1, 31.01.2006. EP 2270517 A1, 05.01.2011. WO 2011089893 A1, 28.07.2011. JP 62201365 A, 05.09.1987

Адрес для переписки:

644050, г.Омск, пр. Мира, 11, ОмГТУ,
Информационно-патентный отдел, О.И. Бабенко

(72) Автор(ы):

Грузин Андрей Васильевич (RU),
Грузин Владимир Васильевич (KZ),
Кучеренко Максим Валерьевич (RU),
Катунин Александр Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Омский
государственный технический университет"
(RU)

(54) СПОСОБ ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТА И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области измерения таких динамических параметров объекта, как скорость и перемещение. Исследуемый объект, освещенный осветителем, закрепляют на штоке, перемещающемся по направляющим с горизонтальной меткой. Видеокамеру устанавливают по отношению к исследуемому объекту таким образом, чтобы ее оптическая ось была перпендикулярна плоскости движения исследуемого объекта и направлена на горизонтальную метку. Одновременно с началом движения исследуемого объекта включают видеокамеру, которая покадрово фиксирует перемещение делений мерной линейки

относительно горизонтальной метки, сравнивают значения делений мерной линейки, совпадающих с горизонтальной меткой, на следующих друг за другом кадрах и, учитывая перемещение исследуемого объекта и скорость видеосъемки, рассчитывают скорость исследуемого объекта. Изобретение позволяет усовершенствовать процесс регистрации динамики процесса и позволяет производить одновременный анализ динамики различных частей исследуемого объекта и сохранить результаты измерений в наглядной форме в виде отдельных кадров. 2 н.п. ф-лы, 1 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2012136314/28, 22.08.2012**(24) Effective date for property rights:
22.08.2012

Priority:

(22) Date of filing: **22.08.2012**(43) Application published: **27.02.2014** Bull. № 6(45) Date of publication: **10.06.2014** Bull. № 16

Mail address:

**644050, g.Omsk, pr. Mira, 11, OmGTU,
Informatsionno-patentnyj otdel, O.I. Babenko**

(72) Inventor(s):

**Gruzin Andrej Vasil'evich (RU),
Gruzin Vladimir Vasil'evich (KZ),
Kucherenko Maksim Valer'evich (RU),
Katunin Aleksandr Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Omskij
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet" (RU)**(54) **METHOD FOR CONTACTLESS MEASUREMENT OF SPEED AND MOVEMENT OF OBJECT AND DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION**

(57) Abstract:

FIELD: instrumentation.

SUBSTANCE: illuminated by a lighter the object to be checked is fixed at a rod travelling along the guides with horizontal mark. A video camera is set in respect to the checked object so that its optical axis is perpendicular to the plane of the object movement and oriented to the horizontal mark. Simultaneously with the start of the object's movement the video camera is switched on and records the movement of measuring bar marks in respect to the horizontal mark by frames, the values of measuring bar marks coinciding with the

horizontal mark on the frames going one after another are compared, and the speed of the object is calculated taking into account the movement of the object and the video recording speed.

EFFECT: invention allows for the improvement of the registration of process dynamics and for simultaneous analysis of dynamics in different parts of the object to be checked and saving of the measurement results in visual form as separate frames.

2 cl, 1 dwg

Изобретение относится к области измерения таких динамических параметров объекта, как скорость и перемещение, и может быть использовано в различных областях, в том числе и в задачах строительства и машиностроения для исследования деформационных характеристик грунтов, моделирования взаимодействия рабочих органов строительных машин с грунтом.

Из существующего уровня техники известен способ измерения скорости объекта (и устройство для его осуществления), использующий пучок когерентного излучения, перемещаемый по линии, параллельной направлению движения объекта с заданной частотой и амплитудой, далее формируют реализации принятых сигналов, синхронизированные с перемещением пучка, и по величине задержки между сигналами определяют мгновенную скорость объекта (RU 2262112, МПК G01P 3/68, C2, опубл. 20.05.2005). Недостатками данного способа являются: соосное расположение элементов устройства для перемещения когерентного излучения и направления движения исследуемого объекта, а также возможность одновременного слежения только за одним объектом.

Также известен способ регистрации быстропротекающих процессов (и устройство для его реализации), сущность которого заключается в том, что выполняют съемку в однокадровом режиме с требуемым для данного процесса исследования временем экспозиций выбранного участка области исследования путем применения электронно-оптической видеокамеры с подсветкой выбранного участка в момент срабатывания регистрирующей аппаратуры, при этом дополнительно осуществляют съемку в однокадровом режиме, по крайней мере, еще одного локального участка области исследования с помощью дополнительной электронно-оптической видеокамеры с источником подсветки данного участка и дополнительно регистрируют теневое изображение выбранных локальных участков области исследования за счет использования рентгеновского излучения, при этом осуществляют покадровую видеосъемку области исследования дополнительной скоростной видеокамерой с длительностью регистрации, соответствующей длительности процесса исследования (RU 2438119, МПК G01N 23/04, C1, опубл. 27.12.2011).

Недостатками данного способа являются: использование нескольких видеокамер для регистрации динамики процесса, причем каждая камера выполняет съемку в однокадровом режиме.

Задачей изобретения является упрощение процесса регистрации динамики процесса, позволяющее производить одновременный анализ динамики различных частей исследуемого объекта и сохранить результаты измерений в наглядной форме в виде отдельных кадров.

Данный технический результат достигается тем, что в способе бесконтактного измерения скорости и перемещения объекта с помощью скоростной видеокамеры исследуемый объект, освещенный источником подсветки области исследования - «осветителем», жестко закрепляют на штоке, перемещающемся по направляющим с горизонтальной меткой, видеокамеру устанавливают по отношению к исследуемому объекту таким образом, чтобы ее оптическая ось была перпендикулярна плоскости движения исследуемого объекта и направлена на горизонтальную метку, а максимальное расстояние L_{\max} между видеокамерой, установленной на штативе, и исследуемым объектом определяется по формуле:

$$L_{\max} = \sqrt{\frac{\Delta p \cdot f^2}{2 \cdot d_{\text{доп}} \cdot K_r}},$$

где

Δp - глубина резко изображаемого пространства, равная размеру исследуемого объекта параллельно оси видеокамеры;

f' - заднее фокусное расстояние объектива видеокамеры;

5 $d_{\text{доп}}$ - величина допустимого диаметра кружка нерезкости в плоскости исследуемого объекта;

K_T - диафрагменное число,

максимальное расстояние S_{max} между осветителем и исследуемым объектом

10 определяют по формуле:

$$S_{\text{max}} = \sqrt{\rho_M \tau_0 \frac{\delta N_u \cos \alpha}{4\pi E_c}} - L_{\text{max}}$$

где

15 ρ_M - коэффициент отражения исследуемого объекта;

τ_0 - коэффициент пропускания объектива;

δ - световая отдача осветителя;

N_u - электрическая мощность осветителя;

20 α - угол, образованный нормалью к плоскости освещения с направлением на осветитель;

E_c - чувствительность сенсора видеокамеры, одновременно с началом движения исследуемого объекта включают видеокамеру, которая покадрово фиксирует перемещение делений мерной линейки относительно горизонтальной метки, сравнивают значения делений мерной линейки, совпадающих с горизонтальной меткой, на

25 следующих друг за другом кадрах, и, учитывая перемещение исследуемого объекта Δh и скорость видеосъемки n , рассчитывают скорость V исследуемого объекта по формуле:

$$V = \Delta h \cdot n,$$

где

30 Δh - перемещение исследуемого объекта; n - скорость видеосъемки.

Значение максимального расстояния L_{max} между видеокамерой, установленной на штативе, и исследуемым объектом получаем, используя следующие величины.

35 Величину допустимого диаметра кружка нерезкости $d_{\text{доп}}$ в плоскости объекта наблюдения определяем требованиями точности определения линейных размеров объекта наблюдения d_m :

$$d_{\text{доп}} \leq d_m \quad (1)$$

40 Поскольку объектом съемки является пространственная модель, имеющая линейные ортогональные размеры съемки, то для гарантированной регистрации движения всех точек объекта съемки необходимо обеспечить в процессе экспериментальных исследований выполнение условия (1). Соблюдение этого требования должна обеспечить соответствующая величина глубины резкости изображаемого пространства (РИП) Δp :

$$\Delta p = r_{\text{зад}} - r_{\text{пер}} \quad (2)$$

где

45 $r_{\text{зад}}$ - расстояния до задней границы РИП, м;

$r_{\text{пер}}$ - расстояния до передней границы РИП, м.

Расстояния до задней границы РИП $r_{\text{зад}}$ определяют по формуле [Проектирование

фото- и киноприборов. / С.В.Кулагин, Е.М.Апарин. - М.: Машиностроение, 1986. - 280 с., стр.55]:

$$P_{\text{зад}} = \frac{D \cdot f' \cdot p_{\text{нав}}}{D \cdot f' - (p_{\text{нав}} - f') \cdot d_{\text{доп}}} \cong \frac{D \cdot f' \cdot p_{\text{нав}}}{D \cdot f' - p_{\text{нав}} \cdot d_{\text{доп}}}, \quad (3)$$

где D - диаметр входного зрачка объектива, м;

f' - заднее фокусное расстояние, м;

$p_{\text{нав}}$ - расстояние от плоскости входного зрачка до плоскости наводки, м.

Расстояния до передней границы РИП $p_{\text{пер}}$ определяют по формуле [Проектирование фото- и киноприборов. / С.В.Кулагин, Е.М.Апарин. - М.: Машиностроение, 1986. - 280 с., стр.55]:

$$P_{\text{пер}} = \frac{D \cdot f' \cdot p_{\text{нав}}}{D \cdot f' + (p_{\text{нав}} - f') \cdot d_{\text{доп}}} \cong \frac{D \cdot f' \cdot p_{\text{нав}}}{D \cdot f' + p_{\text{нав}} \cdot d_{\text{доп}}} \quad (4)$$

Таким образом, подставляя формулы (3) и (4) в уравнение (2), глубину РИП можно определить с помощью следующей приближенной формулы:

$$\Delta p = P_{\text{зад}} - P_{\text{пер}} \cong 2 \cdot \frac{p_{\text{нав}}^2 \cdot d_{\text{доп}}}{D \cdot f'} \quad (5)$$

Поскольку регистрацию ударного воздействия модели на грунт предполагается производить с расстояния, исключающего повреждение объектива и видеокамеры частицами грунта и обеспечивающего минимальное вибрационное воздействие удара на процесс съемки, то с достаточной степенью точности можно принять следующее условие:

$$p_{\text{нав}} \cong l_{\text{набл}}, \quad (6)$$

где $l_{\text{набл}}$ - расстояние наблюдения от передней поверхности объектива видеокамеры до объекта съемки, м.

С учетом вышесказанного глубина РИЛ равна:

$$\Delta p = 2 \cdot \frac{l_{\text{набл}}^2 \cdot d_{\text{доп}}}{D \cdot f'} \quad (7)$$

Как правило, все объективы снабжены диафрагмой - устройством для регулировки относительного отверстия, которое позволяет изменять количество проходящего через объектив света, а также устанавливать необходимую глубину резкости, то есть регулировать глубину РИП. Поэтому с учетом равенства [Вычислительная оптика: Справочник / М.М.Русинов, А.П.Грамматин, П.Д.Иванов и др. Под общ. Ред. М.М.Русинова. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1984. - 423 с., стр.5]:

$$\frac{1}{K_r} = \frac{D}{f'}, \quad (8)$$

где K_r - диафрагменное число, уравнение (7) будет иметь следующий вид:

$$\Delta p = 2 \cdot \frac{l_{\text{набл}}^2 \cdot d_{\text{доп}} \cdot K_r}{f'^2}. \quad (9)$$

Таким образом, максимальное расстояние наблюдения L_{max} можно рассчитать по формуле:

$$L_{\max} = \sqrt{\frac{\Delta p \cdot f'^2}{2 \cdot d_{\text{доп}} \cdot K_{\Gamma}}}$$

где

- 5 Δp - глубина резко изображаемого пространства, равная размеру исследуемого объекта параллельно оси видеокамеры;
 f' - заднее фокусное расстояние объектива видеокамеры;
 $d_{\text{доп}}$ - величина допустимого диаметра кружка нерезкости в плоскости исследуемого объекта;
 10 K_{Γ} - диафрагменное число.

Для обеспечения нормальных условий работы скоростной видеокамеры необходимо обеспечить освещенность E ее сенсора не меньше пороговой величины E_c , указанной в паспорте:

$$15 \quad E \geq E_c \quad (11)$$

Освещенность E сенсора видеокамеры можно определить по формуле [Вычислительная оптика: Справочник / М.М.Русинов, А.П.Грамматин, П.Д.Иванов и др. Под общ. Ред. М.М.Русинова. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1984. - 423 с., стр.91]:

$$20 \quad E = \rho_m \tau_0 \frac{J \cos \alpha}{r^2}, \quad (12)$$

где ρ_m - коэффициент отражения исследуемого объекта;

τ_0 - коэффициент пропускания объектива скоростной видеокамеры;

- 25 J - сила света источника, кд;

α - угол, образованный нормалью к плоскости освещения с направлением на источник, град.;

r - расстояние от источника света до сенсора видеокамеры вдоль ее оптической оси, м.

- 30 Силу света источника J рассчитывают по формуле [Инженерная оптика / И.Л.Сакин. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1976. - 288 с, стр.134]:

$$J = \frac{\Phi_u}{4\pi}, \quad (13)$$

- 35 где Φ_u - световой поток, создаваемый источником освещения, лм;

π - математическая константа, $\pi=3,14159\dots$

Значения светового потока для различных источников приводят в их паспортах.

При отсутствии паспортных данных на данный источник его световой поток можно определить, умножая значение световой отдачи δ на величину электрической мощности

- 40 N_u источника излучения [Справочник по элементарной физике. / Н.И.Кошкин,

М.Г.Ширкевич. - 8-е изд. перераб. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. - 208 с., стр.173].

$$\Phi_u = \delta N_u \quad (14)$$

- 45 Расстояние r от источника до сенсора видеокамеры вдоль ее оптической оси равно:

$$r = L_{\max} + s_{\text{осв.}}, \quad (15)$$

где L_{\max} - максимальное расстояние между видеокамерой и объектом наблюдения, м;

$S_{\text{осв}}$ - расстояние от источника света до освещаемого объекта, м.

С учетом уравнений (13)-(15) уравнение (12) будет иметь следующий вид:

$$E = \rho_M \tau_0 \frac{\delta N_u \cos \alpha}{4\pi(L_{\text{max}} + S_{\text{осв.}})^2} \quad (16)$$

Таким образом, максимальное расстояние S_{max} между осветителем и исследуемым объектом определяют по формуле:

$$S_{\text{max}} = \sqrt{\rho_M \tau_0 \frac{\delta N_u \cos \alpha}{4\pi E_c}} - L_{\text{max}}$$

где

ρ_M - коэффициент отражения исследуемого объекта;

τ_0 - коэффициента пропускания объектива;

δ - световая отдача осветителя;

N_u - электрическая мощность осветителя;

π - математическая константа, $\pi=3,14159\dots$;

α - угол, образованный нормалью к плоскости освещения с направлением на осветитель;

E_c - чувствительность сенсора видеокамеры.

Одновременно с началом движения исследуемого объекта включают видеокамеру, которая покадрово фиксирует перемещение делений мерной линейки относительно горизонтальной метки, сравнивают значения делений мерной линейки, совпадающих с горизонтальной меткой, на следующих друг за другом кадрах, и, учитывая перемещение исследуемого объекта Δh и скорость видеосъемки n , рассчитывают скорость V исследуемого объекта по формуле:

$$V = \Delta h \cdot n,$$

где

Δh - перемещение исследуемого объекта;

n - скорость видеосъемки.

Так как в экспериментальных исследованиях используется песок средней крупности (грунт) со средним размером частиц 0,38 мм, то регистрацию перемещения частиц грунта под действием внешней силы планируется выполнять с точностью до $d_m = d_{\text{доп}} = 0,1$ мм. Коэффициент отражения песка (отношение отраженной энергии к падающей на объект энергии) зависит от его дисперсности и увеличивается от 0,4 до 0,8 с уменьшением размера частиц. Для песка средней крупности принимаем $\rho_M = 0,4$.

Для видеосъемки предлагается использовать скоростную видеокамеру ТМС-6740 GE. Чувствительность сенсора видеокамеры ТМС-6740 GE равна $E_c = 1,4$ лк.

Совместно с камерой предлагается использовать объектив Navitar DO-5095, который имеет следующие основные характеристики:

- фокусное расстояние $f' = 50$ мм;

- диафрагменное число $K_f = 0,95 \div 16$;

- угловое поле в пространстве предметов $2\omega(H \times V) = 14^\circ 36' \times 11^\circ 00'$;

- коэффициента пропускания $\tau_0 = 0,785$.

Диафрагменное число объектива примем равным $K_f = 5$. Глубину РИП примем равной диаметру основания объекта съемки - конической модели - $\Delta r = 45$ мм.

В качестве источника света предлагается использовать лампу накаливания Б220-

230-100 (ГОСТ Р МЭК 60064-99) мощностью $N_u=100$ Вт со световой отдачей

$\delta = 13,8 \frac{\text{лм}}{\text{Вт}}$. Для удобства работы и с целью предотвращения прямой засветки

5 видеокамеры отраженным от светопрозрачного экрана светом источник освещения разместим под углом 45° к месту наблюдения - $\alpha=45^\circ$.

Тогда максимальное расстояние L_{\max} между видеокамерой, установленной на штативе, и исследуемым объектом будет равно:

$$10 \quad L_{\max} = \sqrt{\frac{\Delta p \cdot f'^2}{2 \cdot d_{\text{доп}} \cdot K_r}} = \sqrt{\frac{45 \cdot 50^2}{2 \cdot 0,1 \cdot 5}} = 335 \text{ мм} = 0,335 \text{ м}$$

Максимальное расстояние S_{\max} между осветителем и исследуемым объектом будет равно:

$$15 \quad S_{\max} = \sqrt{\rho_m \tau_o \frac{\delta N_u \cos \alpha}{4 \pi E_c}} - L_{\max} =$$

$$= \sqrt{0,4 \cdot 0,785 \cdot \frac{13,8 \cdot 100 \cdot \cos 45^\circ}{4 \pi \cdot 1,4}} - 0,335 \cong 3,84 \text{ м}$$

20 На фиг.1 изображена схема устройства для бесконтактного измерения скорости и перемещения объекта.

Для реализации способа бесконтактного измерения скорости и перемещения объекта с помощью скоростной видеокамеры исследуемый объект 1 с мерной линейкой 2 с делениями жестко закреплен на штоке 3 с возможностью перемещения в вертикальной плоскости в направляющих 4.

25 На направляющих 4 жестко закреплена горизонтальная метка 5, перекрывающая деления мерной линейки 2 на величину Δ . На расстоянии L_{\max} от оси исследуемого объекта 1 расположена видеокамера 6, установленная на штативе 7. Для освещения исследуемого объекта 1 используется источник подсветки области исследования «осветитель» 8, расположенный на расстоянии S_{\max} от исследуемого объекта 1 под углом α , образованным нормалью к плоскости освещения, совпадающей с оптической осью видеокамеры, и направлением на «осветитель» 8.

30 Рассмотрим конкретный пример реализации предлагаемого способа. На расстоянии L_{\max} от исследуемого объекта 1 устанавливают видеокамеру 6 так, чтобы ее оптическая ось была перпендикулярна плоскости движения исследуемого объекта 1 и направлена на горизонтальную метку 5. На расстоянии S_{\max} от исследуемого объекта устанавливают «осветитель» 8 под углом α к оптической оси видеокамеры 6. Одновременно с началом движения исследуемого объекта 1 включают видеокамеру 6, которая покадрово фиксирует перемещение в поле зрения видеокамеры 6 относительно горизонтальной метки 5 делений мерной линейки 2, жестко связанной штоком 3 с исследуемым объектом 1. После окончания покадровой видеосъемки сравнивают значения делений мерной линейки 2, совпадающих с горизонтальной меткой 5, на следующих друг за другом кадрах и рассчитывают текущее перемещение Δh исследуемого объекта 1 за промежуток времени, равный смене одного кадра другим. Учитывая перемещение Δh исследуемого объекта 1 от кадра к кадру и скорость видеосъемки n , рассчитывают скорость V исследуемого объекта 1.

45 Таким образом, использование предлагаемого изобретения позволяет усовершенствовать процесс регистрации динамики процесса и позволяет производить

одновременный анализ динамики различных частей исследуемого объекта и сохранить результаты измерений в наглядной форме в виде отдельных кадров.

Формула изобретения

1. Способ бесконтактного измерения скорости и перемещения объекта с помощью скоростной видеокамеры заключается в том, что исследуемый объект, освещенный осветителем, закрепляют на штоке, перемещающемся по направляющим с горизонтальной меткой, видеокамеру устанавливают по отношению к исследуемому объекту таким образом, чтобы ее оптическая ось была перпендикулярна плоскости движения исследуемого объекта и направлена на горизонтальную метку, а максимальное расстояние L_{\max} между видеокамерой, установленной на штативе, и исследуемым объектом определяется по формуле:

$$L_{\max} = \sqrt{\frac{\Delta p \cdot f'^2}{2 \cdot d_{\text{доп}} \cdot K_r}}$$

где

Δp - глубина резко изображаемого пространства, равная размеру исследуемого объекта параллельно оси видеокамеры;

f' - заднее фокусное расстояние объектива видеокамеры;

$d_{\text{доп}}$ - величина допустимого диаметра кружка контрастности в плоскости исследуемого объекта;

K_r - диафрагменное число,

а максимальное расстояние S_{\max} между осветителем и исследуемым объектом определяют по формуле:

$$S_{\max} = \sqrt{\rho_m \tau_0 \frac{\delta N_u \cos \alpha}{4 \pi E_c}} - L_{\max}$$

где

ρ_m - коэффициент отражения исследуемого объекта;

τ_0 - коэффициента пропускания объектива;

δ - световая отдача осветителя;

N_u - электрическая мощность осветителя;

α - угол, образованный нормалью к плоскости освещения с направлением на осветитель;

E_c - чувствительность сенсора видеокамеры,

одновременно с началом движения исследуемого объекта включают видеокамеру, которая покадрово фиксирует перемещение делений мерной линейки относительно горизонтальной метки, сравнивают значения делений мерной линейки, совпадающих с горизонтальной меткой, на следующих друг за другом кадрах, и, учитывая перемещение исследуемого объекта Δh и скорость видеосъемки n , рассчитывают скорость V исследуемого объекта по формуле:

$$V = \Delta h \cdot n,$$

где

Δh - перемещение исследуемого объекта;

n - скорость видеосъемки.

2. Устройство для бесконтактного измерения скорости и перемещения объекта с помощью скоростной видеокамеры, включающее видеокамеру, источник подсветки

области исследования - «осветитель» и исследуемый объект, отличающееся тем, что исследуемый объект жестко закреплен на штоке с мерной линейкой с возможностью перемещения в вертикальной плоскости в направляющих, на которых жестко закреплена горизонтальная метка, перекрывающая деления мерной линейки на величину Δ ,
5 видеокамера устройства установлена на расстоянии L_{\max} от оси исследуемого объекта на штативе, а источник подсветки области исследования - «осветитель» расположен на расстоянии S_{\max} от исследуемого объекта под углом α , образованным нормалью к плоскости освещения, совпадающей с оптической осью видеокамеры, и направлением
10 на «осветитель».

15

20

25

30

35

40

45

