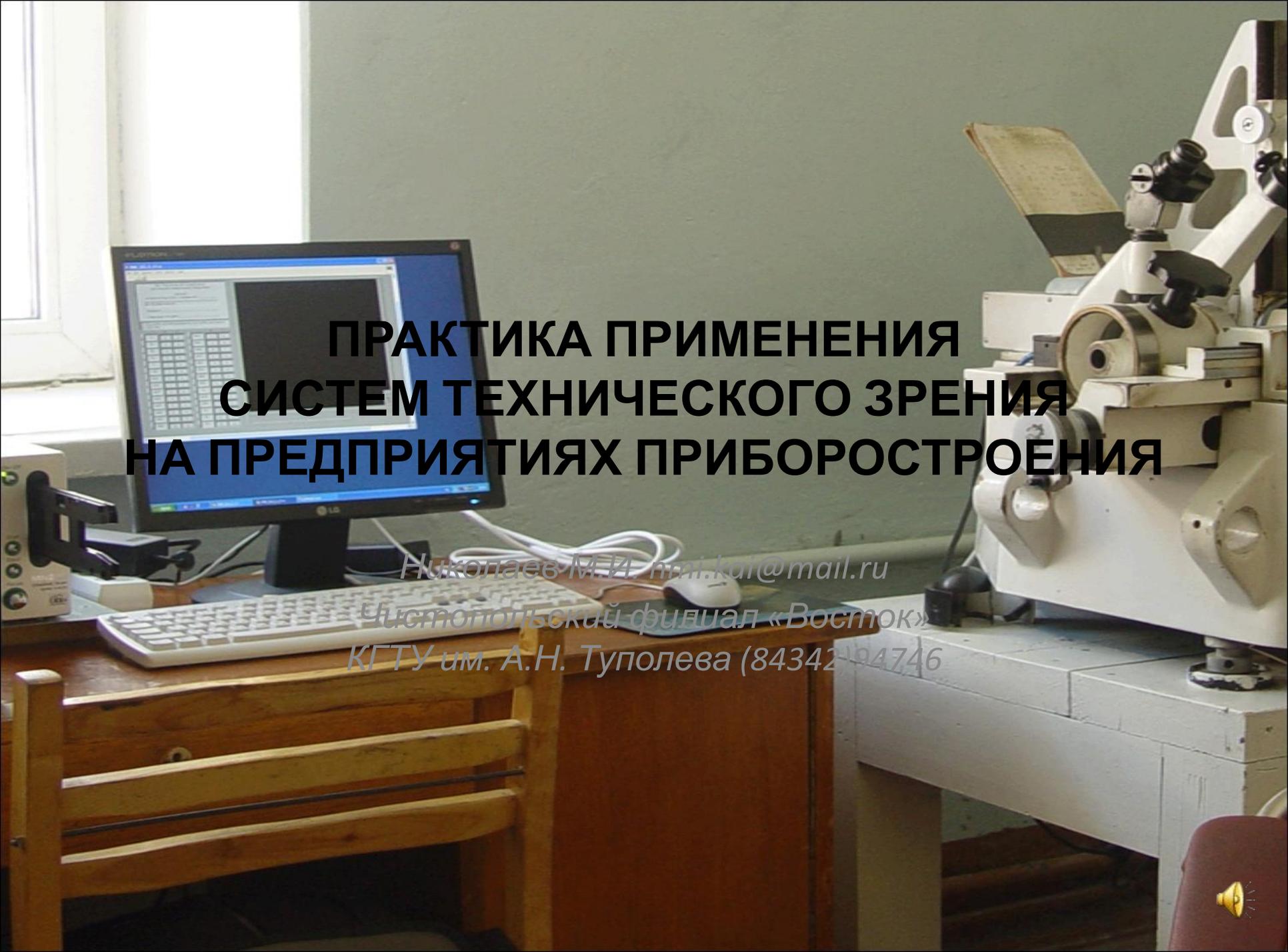


**ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ  
СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ  
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**





# ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

*Николаев М.И. [nmi.kai@mail.ru](mailto:nmi.kai@mail.ru)*

*Чистопольский филиал «Восток»  
КГТУ им. А.Н. Туполева (84342) 94746*



Анализируется практика применения систем технического зрения,  
разработанных по договорам с ООО "ПФ "Бриолет" и ООО "НТЦ  
"Восток"



Анализируется практика применения систем технического зрения,  
разработанных по договорам с ООО "ПФ "Бриолет" и ООО "НТЦ  
"Восток"

Договор с ПФ "Бриолет" -  
измерения при производстве  
часовых камней



Анализируется практика применения систем технического зрения, разработанных по договорам с ООО "ПФ "Бриолет" и ООО "НТЦ "Восток"

Договор с ПФ "Бриолет" -  
измерения при производстве  
часовых камней

Техническим заданием  
предусмотрено:

- объект измерения – часовые камни
- габаритные размеры 1,5 мм
- погрешность +/- 2 мкм
- цикл измерения одной детали – не более 200 мс
- допускается использование имеющейся оптической части – часового проектора



Анализируется практика применения систем технического зрения, разработанных по договорам с ООО "ПФ "Бриолет" и ООО "НТЦ

Договор с ПФ "Бриолет" -  
измерения при производстве  
часовых камней

"Восток" Договор с НТЦ "Восток" -  
измерения для ООО "ПМП"  
(Платино-мостовое производство  
часовых механизмов)

Техническим заданием  
предусмотрено:

- объект измерения – часовые камни
- габаритные размеры 1,5 мм
- погрешность +/- 2 мкм
- цикл измерения одной детали – не более 200 мс
- допускается использование имеющейся оптической части – часового проектора



Анализируется практика применения систем технического зрения, разработанных по договорам с ООО "ПФ "Бриолет" и ООО "НТЦ

Договор с ПФ "Бриолет" -  
измерения при производстве  
часовых камней

Техническим заданием  
предусмотрено:

- объект измерения – часовые камни
- габаритные размеры 1,5 мм
- погрешность +/- 2 мкм
- цикл измерения одной детали – не более 200 мс
- допускается использование имеющейся оптической части – часового проектора

"Восток" Договор с НТЦ "Восток" -  
измерения для ООО "ПМП"  
(Платино-мостовое производство  
часовых механизмов)

Техническим заданием  
предусмотрено:

- объект измерения – платины и мосты механизмов часов
- габаритные размеры 26 мм
- погрешность +/- 1 мкм
- цикл измерения одной детали – не более 3 мин
- количество геометрических элементов для замера на одной детали – до 30 элементов

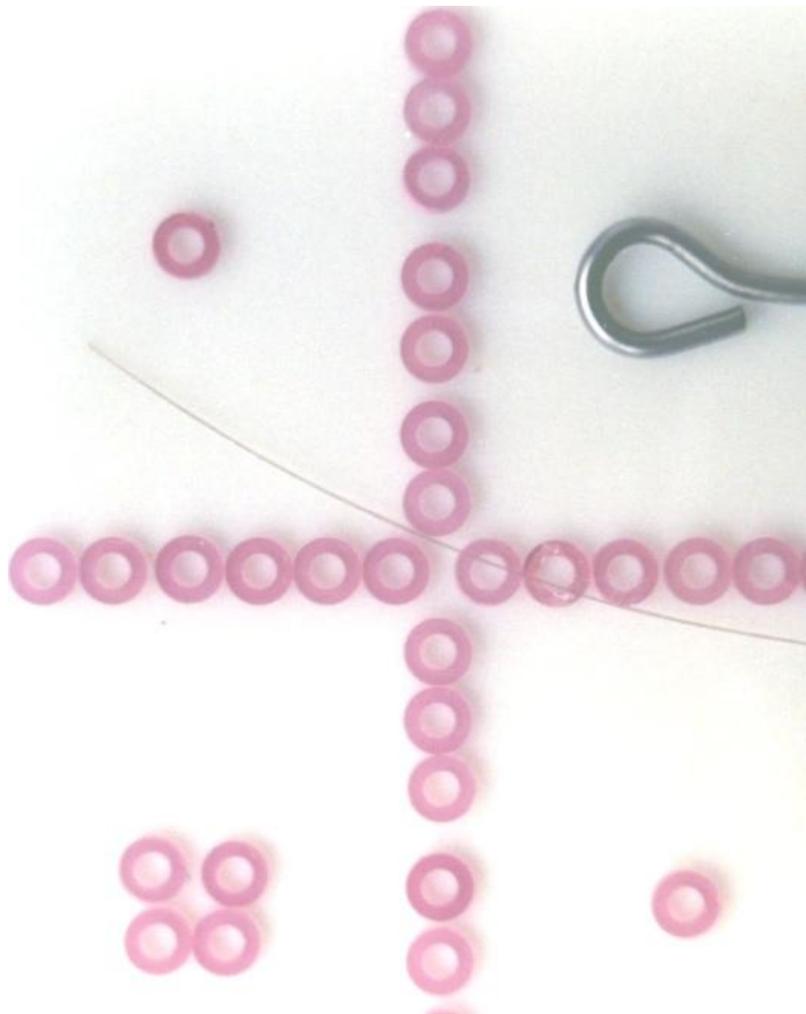


# Объекты контроля



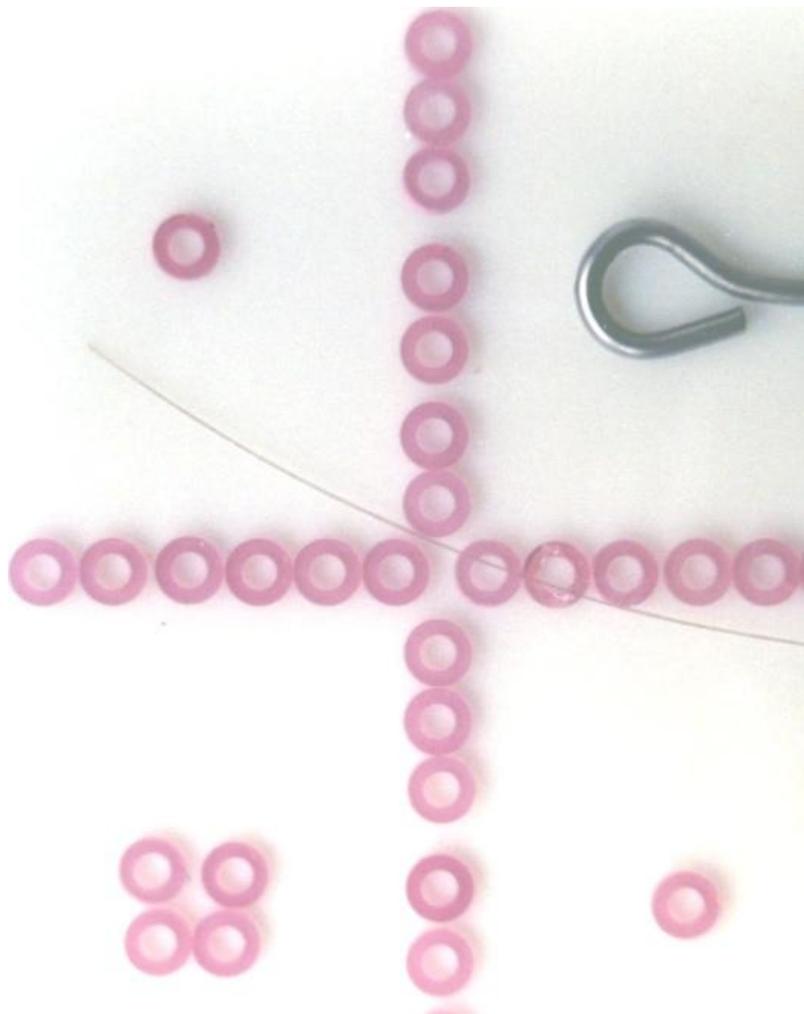
# Объекты контроля

## Часовые камни



## Объекты контроля

Часовые камни



Блок мостов



Применение СТЗ позволило накопить статистические данные, анализ которых выявил следующие проблемы:



Применение СТЗ позволило накопить статистические данные, анализ которых выявил следующие проблемы:

### Часовые камни

- нестабильность питающего напряжения при контроле на часовом проекторе – погрешность может составлять несколько микрометров
- неконтролируемость эллиптичности при контроле предельными калибрами – контроль предельными калибрами является неэффективным
- некруглые отверстия
- загрязнения



Применение СТЗ позволило накопить статистические данные, анализ которых выявил следующие проблемы:

### Часовые камни

- нестабильность питающего напряжения при контроле на часовом проекторе – погрешность может составлять несколько микрометров
- неконтролируемость эллиптичности при контроле предельными калибрами – контроль предельными калибрами является неэффективным
- некруглые отверстия
- загрязнения

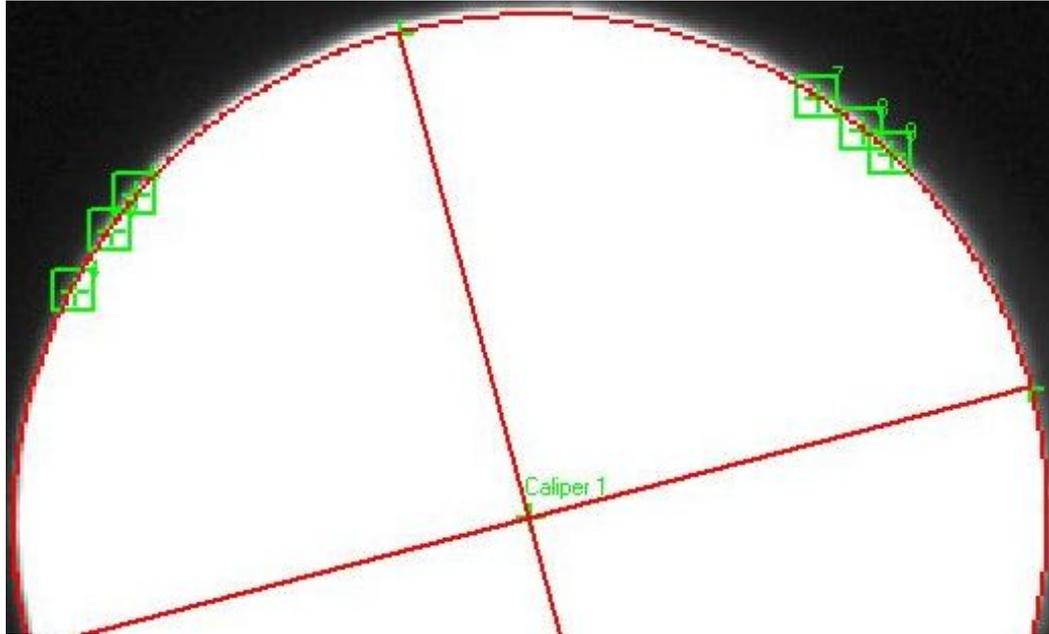
### Платины и мосты

- некруглые отверстия - эллиптичность первого и более высоких порядков препятствует однозначному определению центра отверстия
- невертикальные отверстия - вместо применяющегося измерения в отраженном свете, следует применять измерение на просвет
- загрязнения – требуется фильтрация «геометрических шумов» на изображении
- отсутствие эталона – необходимо получить эталон 

Эллиптичность препятствует определению центра отверстия



# Эллиптичность препятствует определению центра отверстия



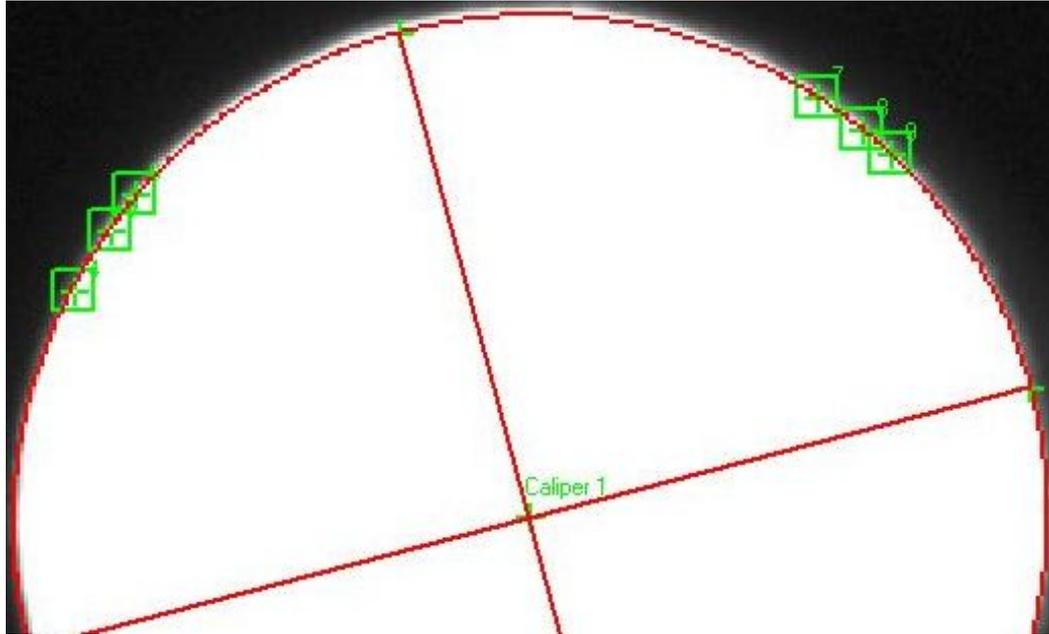
Эллиптичность препятствует определению центра отверстия



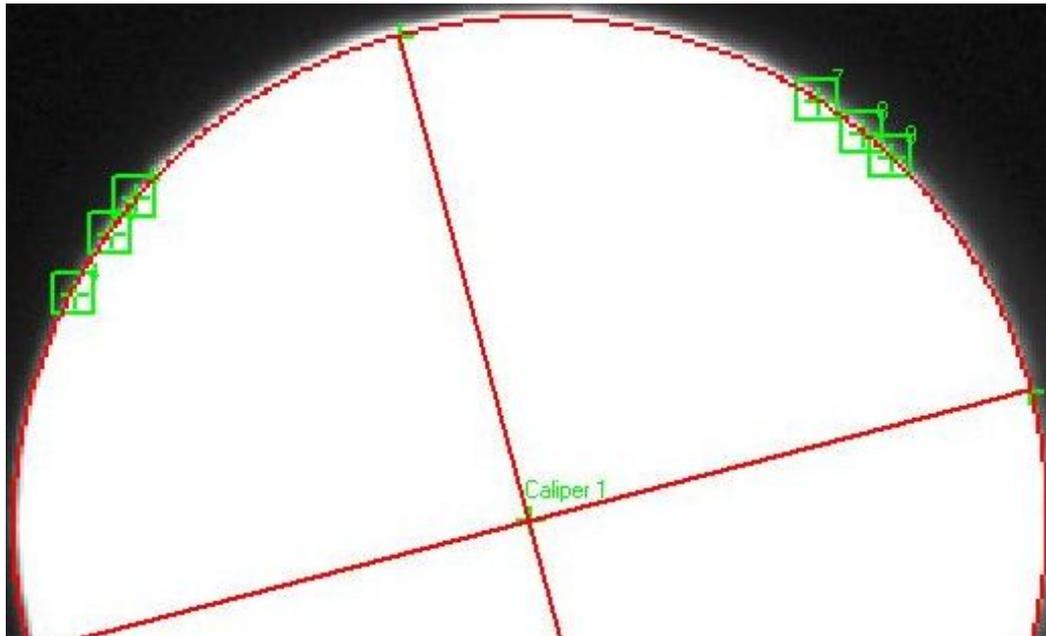
Эллиптичность препятствует определению центра отверстия



# Эллиптичность препятствует определению центра отверстия



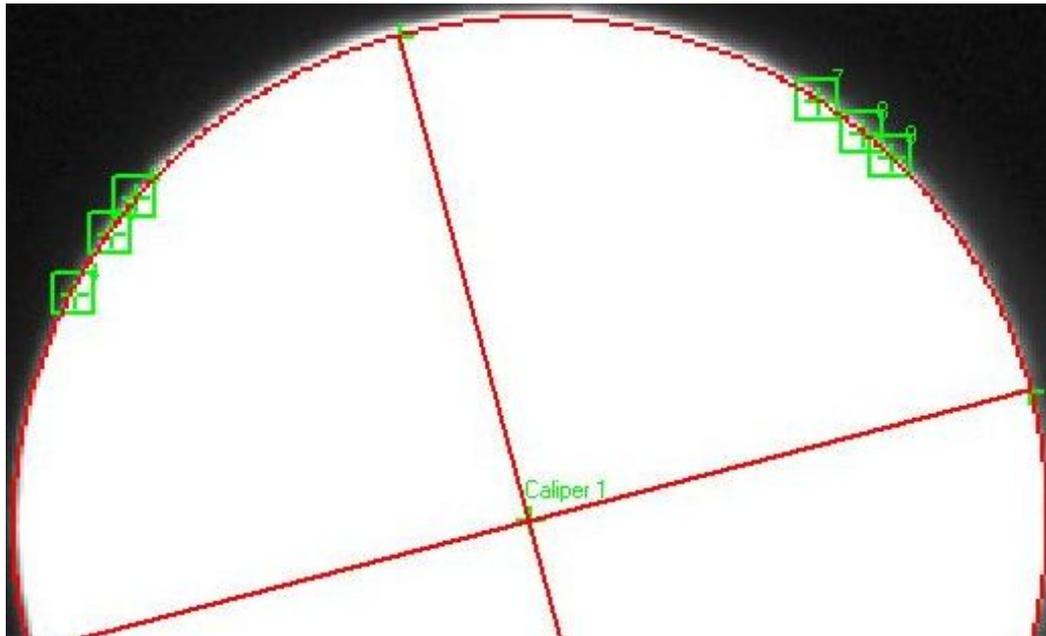
# Эллиптичность препятствует определению центра отверстия



|            |          |
|------------|----------|
| Center.X   | 5522,09  |
| Center.Y   | 2995,39  |
| Max Radius | 254,72   |
| Min Radius | 250,08   |
| Area       | 50030,16 |
| Center.X   | 5522,77  |
| Center.Y   | 2994,68  |
| Radius     | 125,99   |



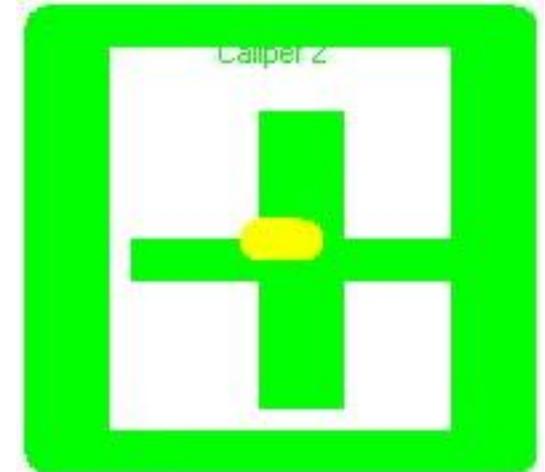
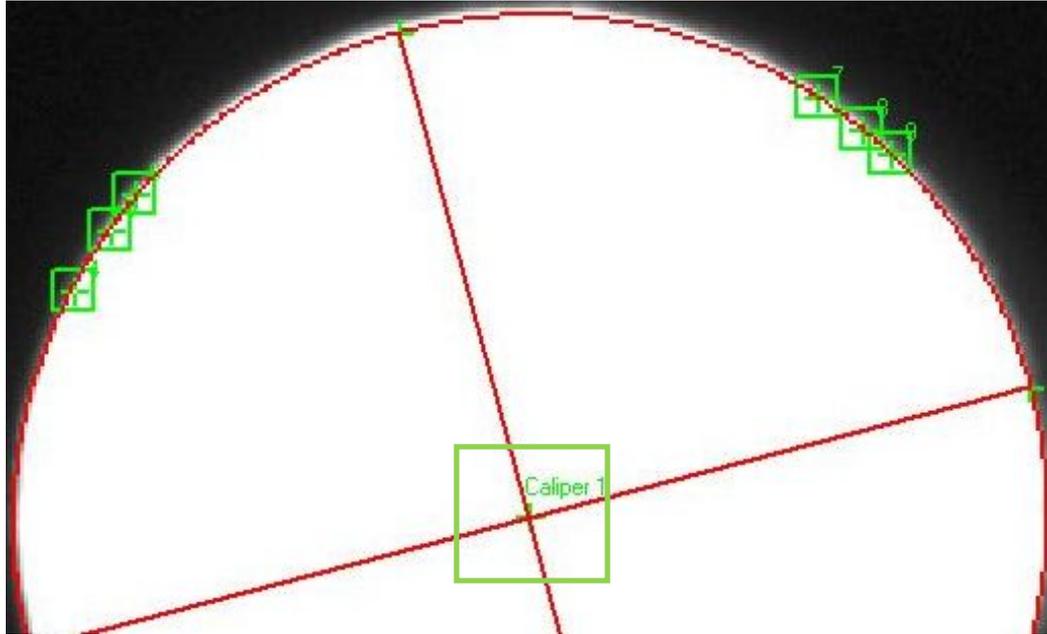
# Эллиптичность препятствует определению центра отверстия



|            |          |
|------------|----------|
| Center.X   | 5522,09  |
| Center.Y   | 2995,39  |
| Max Radius | 254,72   |
| Min Radius | 250,08   |
| Area       | 50030,16 |
| Center.X   | 5522,77  |
| Center.Y   | 2994,68  |
| Radius     | 251,99   |



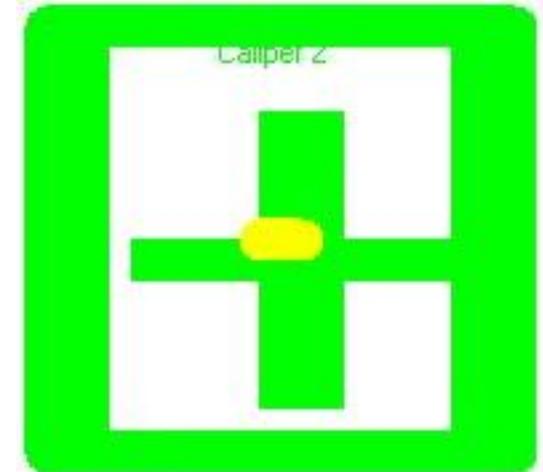
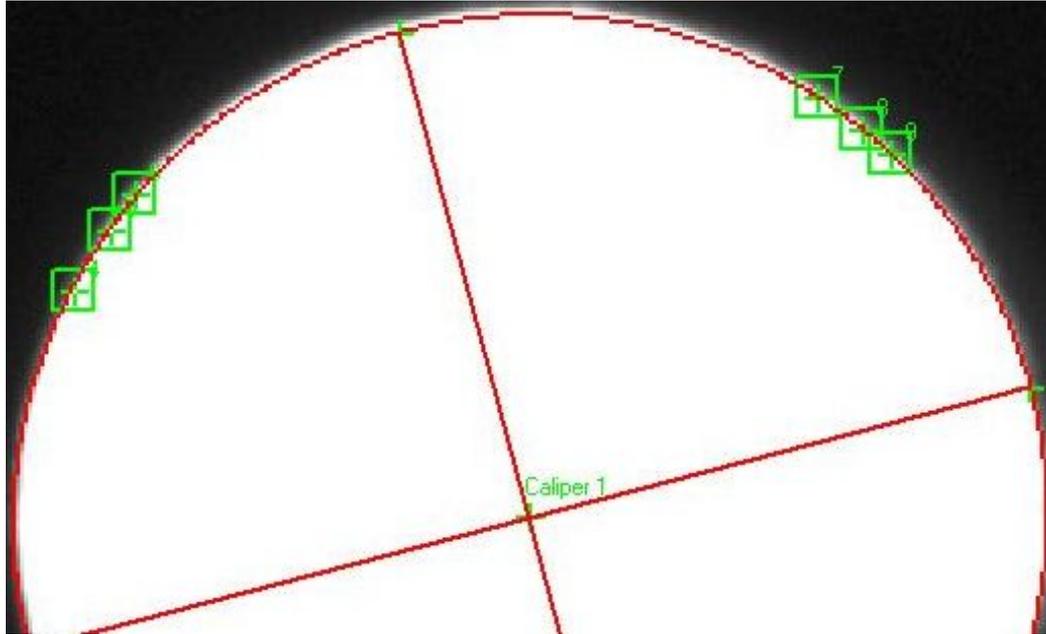
# Эллиптичность препятствует определению центра отверстия



|            |          |
|------------|----------|
| Center.X   | 5522,09  |
| Center.Y   | 2995,39  |
| Max Radius | 254,72   |
| Min Radius | 250,08   |
| Area       | 50030,16 |
| Center.X   | 5522,77  |
| Center.Y   | 2994,68  |
| Radius     | 251,99   |



# Эллиптичность препятствует определению центра отверстия



|            |          |
|------------|----------|
| Center.X   | 5522,09  |
| Center.Y   | 2995,39  |
| Max Radius | 254,72   |
| Min Radius | 250,08   |
| Area       | 50030,16 |
| Center.X   | 5522,77  |
| Center.Y   | 2994,68  |
| Radius     | 125,99   |

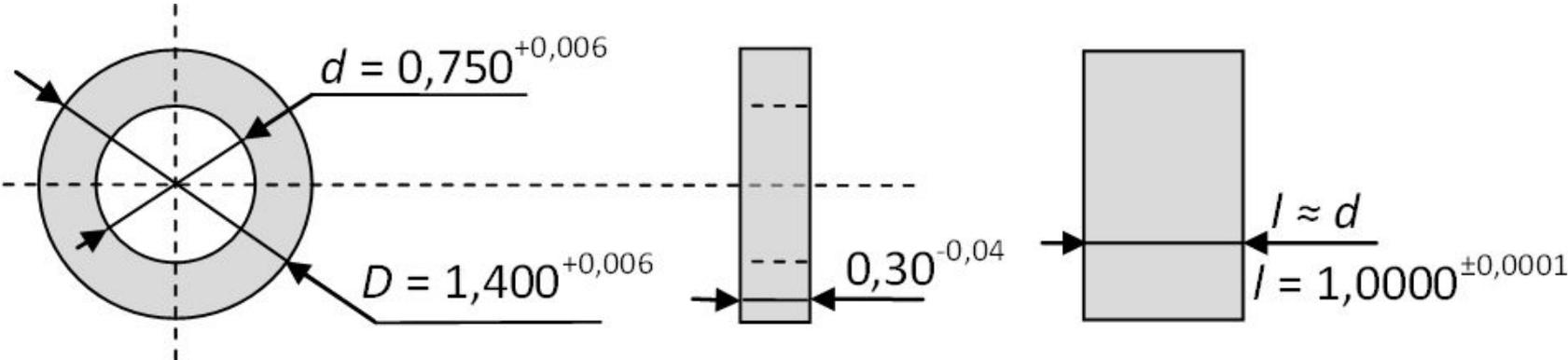
Погрешность, возникающая из-за эллиптичности отверстия, делает невозможным измерение с погрешностью  $\pm 1$  мкм



Номинальные размеры объекта контроля ( $D$ ,  $d$ ) и  
эталона ( $l$ )



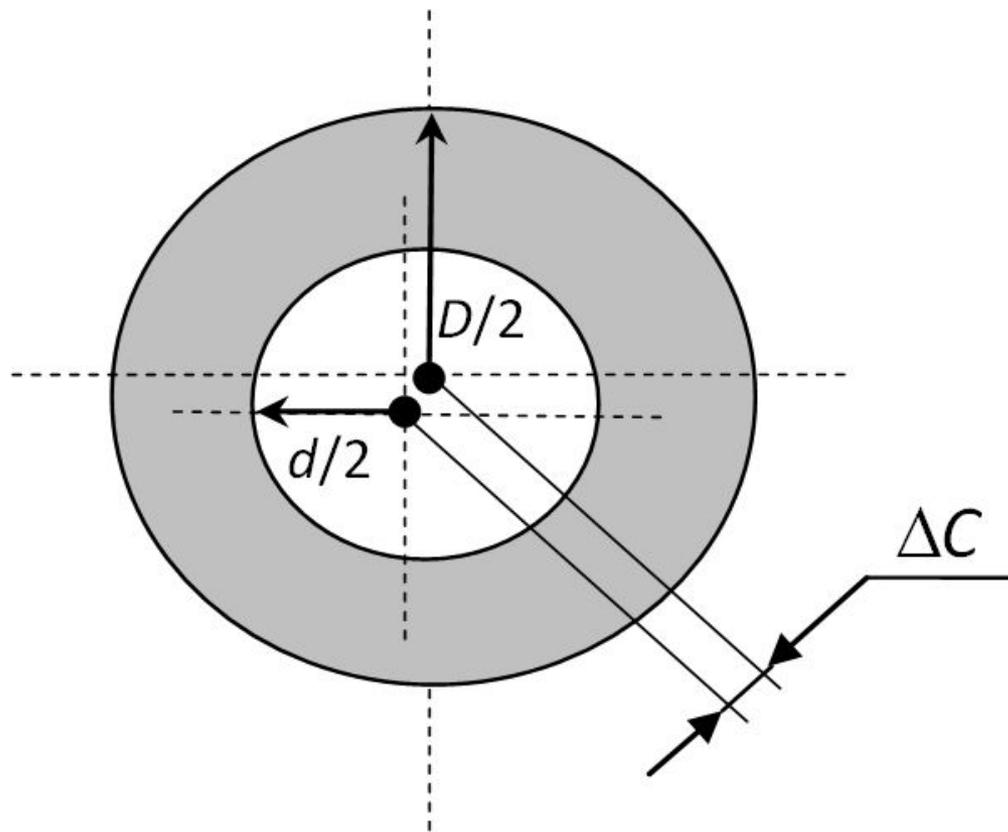
# Номинальные размеры объекта контроля ( $D$ , $d$ ) и эталона ( $l$ )



# Измеряемые параметры объекта контроля



# Измеряемые параметры объекта контроля

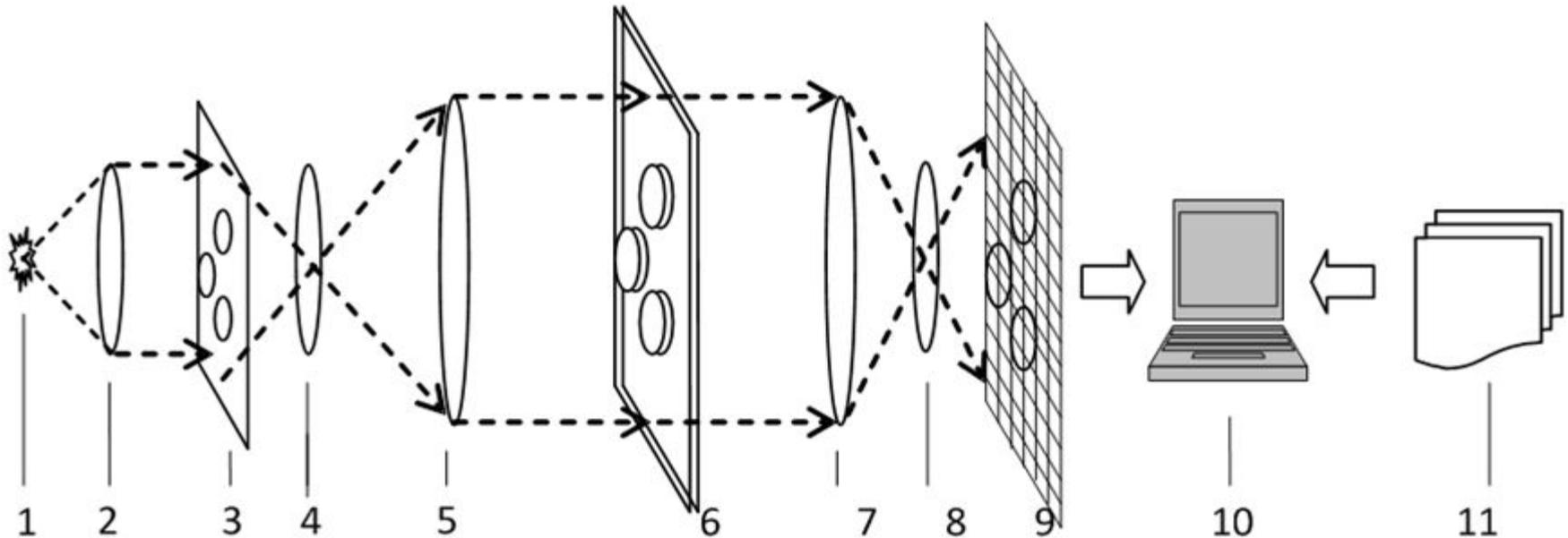


# Структурная схема СТЗ





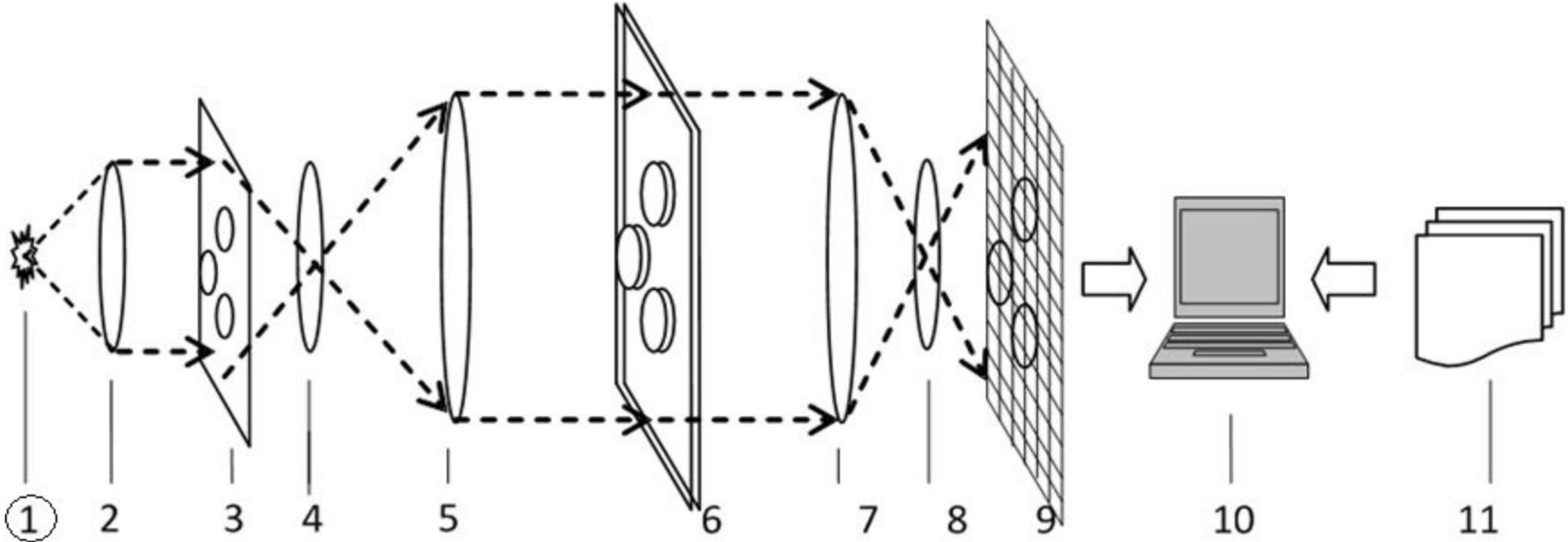
## Структурная схема СТЗ



1 – источник освещения; 2 – коллиматор; 3 – объекты измерения на предметном стекле; 4, 5 – объектив; 6 – изображение объектов на матовом экране; 7, 8 – объектив; 9 – фотоматрица; 10 – персональный компьютер (ПК); 11 – программное обеспечение (ПО)



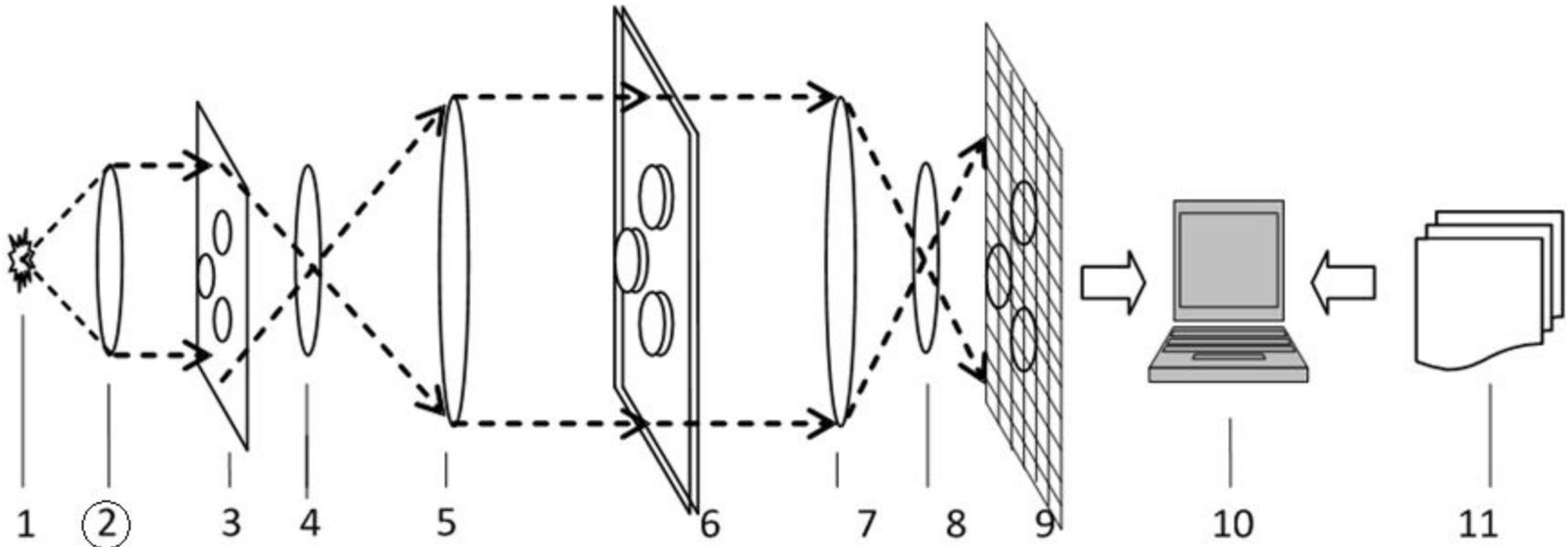
## Структурная схема СТЗ



1 – источник освещения; 2 – коллиматор; 3 – объекты измерения на предметном стекле; 4, 5 – объектив; 6 – изображение объектов на матовом экране; 7, 8 – объектив; 9 – фотоматрица; 10 – персональный компьютер (ПК); 11 – программное обеспечение (ПО)



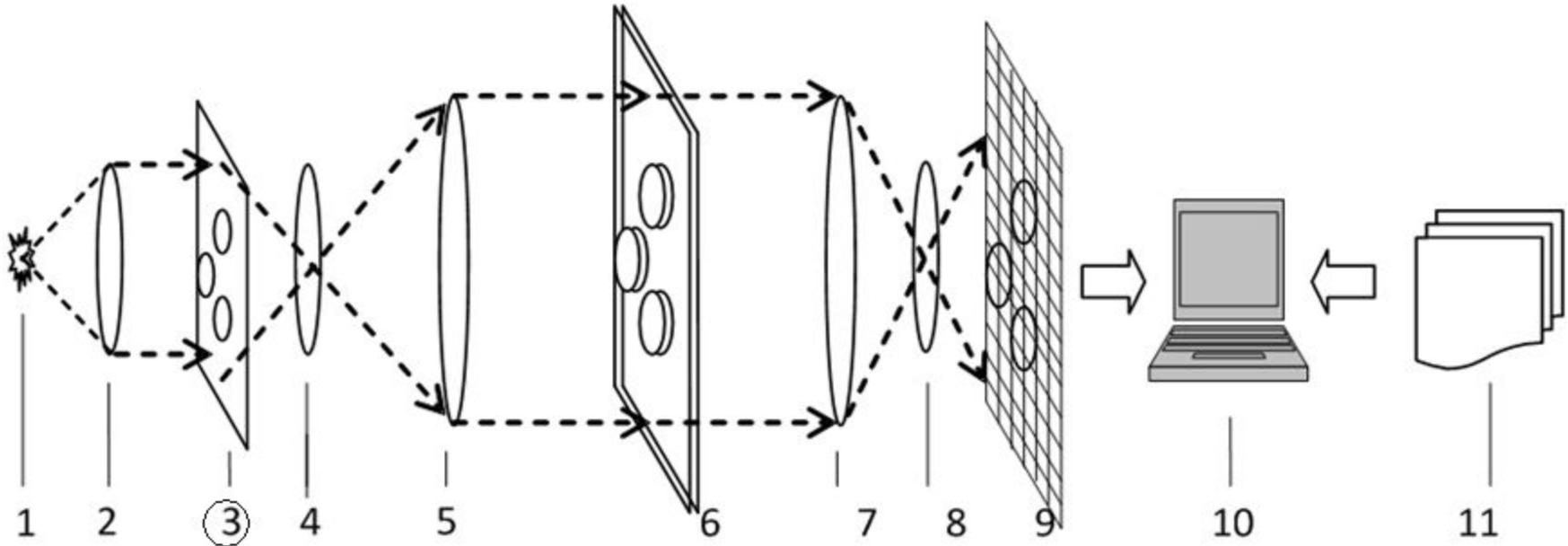
## Структурная схема СТЗ



1 – источник освещения; 2 – коллиматор; 3 – объекты измерения на предметном стекле; 4, 5 – объектив; 6 – изображение объектов на матовом экране; 7, 8 – объектив; 9 – фотоматрица; 10 – персональный компьютер (ПК); 11 – программное обеспечение (ПО)



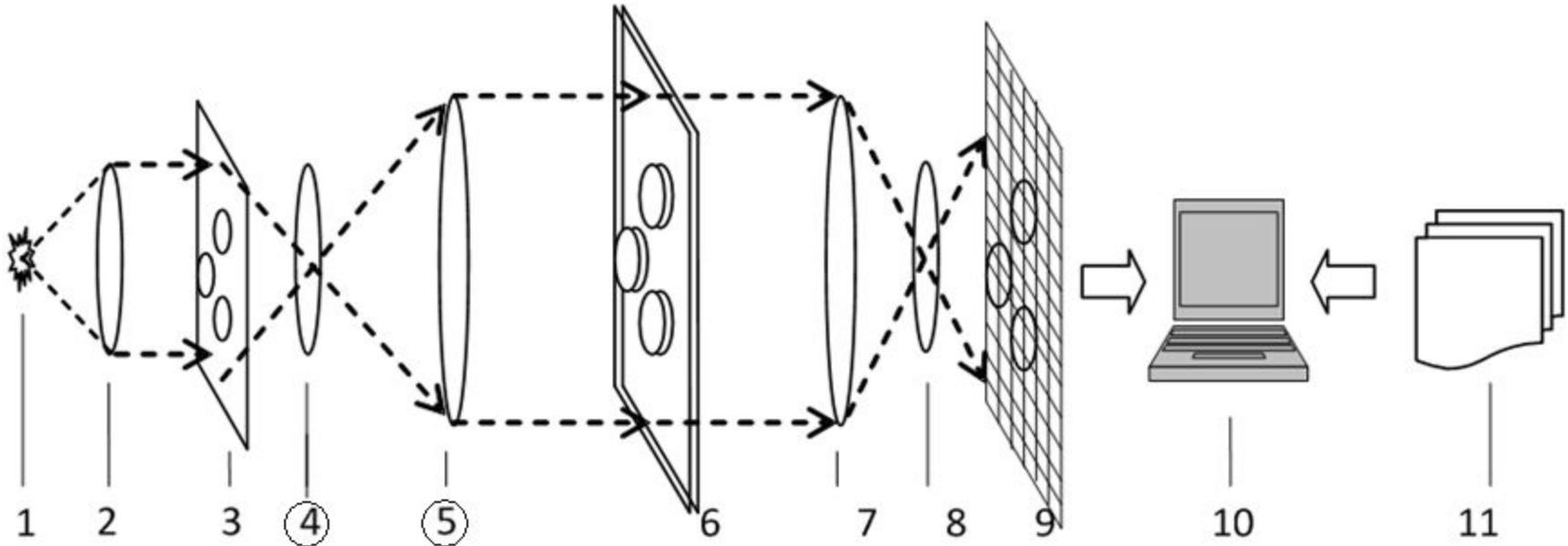
## Структурная схема СТЗ



1 – источник освещения; 2 – коллиматор; 3 – объекты измерения на предметном стекле; 4, 5 – объектив; 6 – изображение объектов на матовом экране; 7, 8 – объектив; 9 – фотоматрица; 10 – персональный компьютер (ПК); 11 – программное обеспечение (ПО)



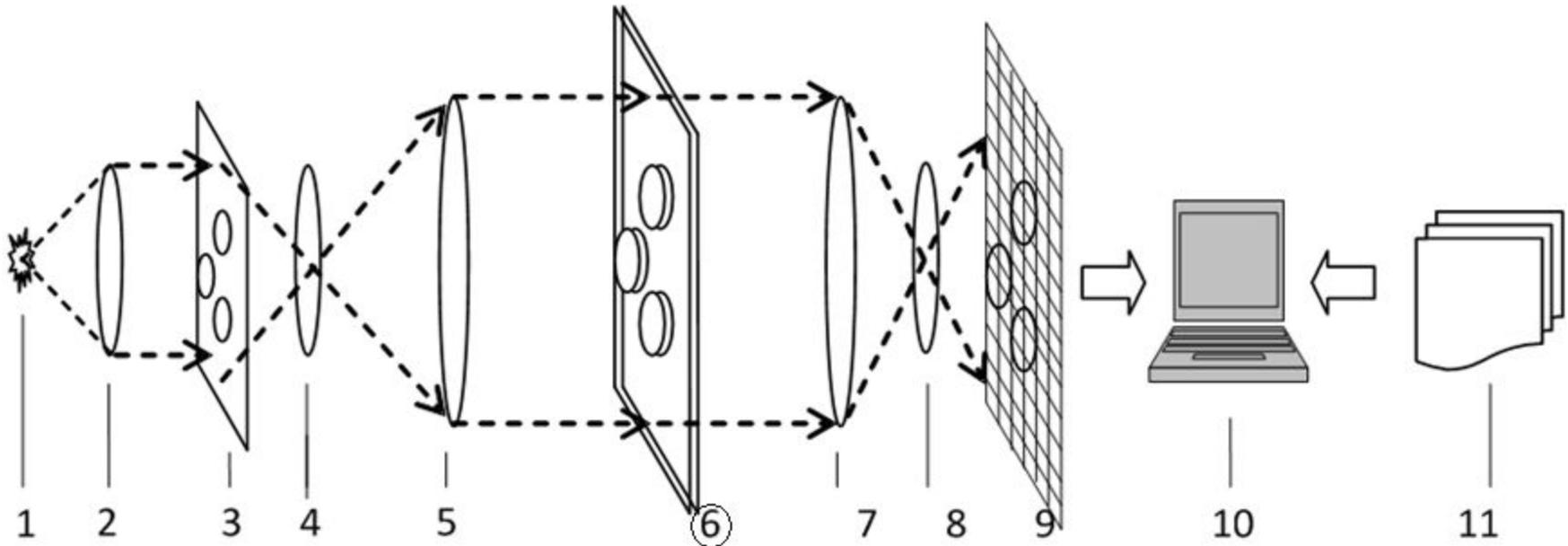
## Структурная схема СТЗ



*1* – источник освещения; *2* – коллиматор; *3* – объекты измерения на предметном стекле; *4, 5* – объектив; *6* – изображение объектов на матовом экране; *7, 8* – объектив; *9* – фотоматрица; *10* – персональный компьютер (ПК); *11* – программное обеспечение (ПО)



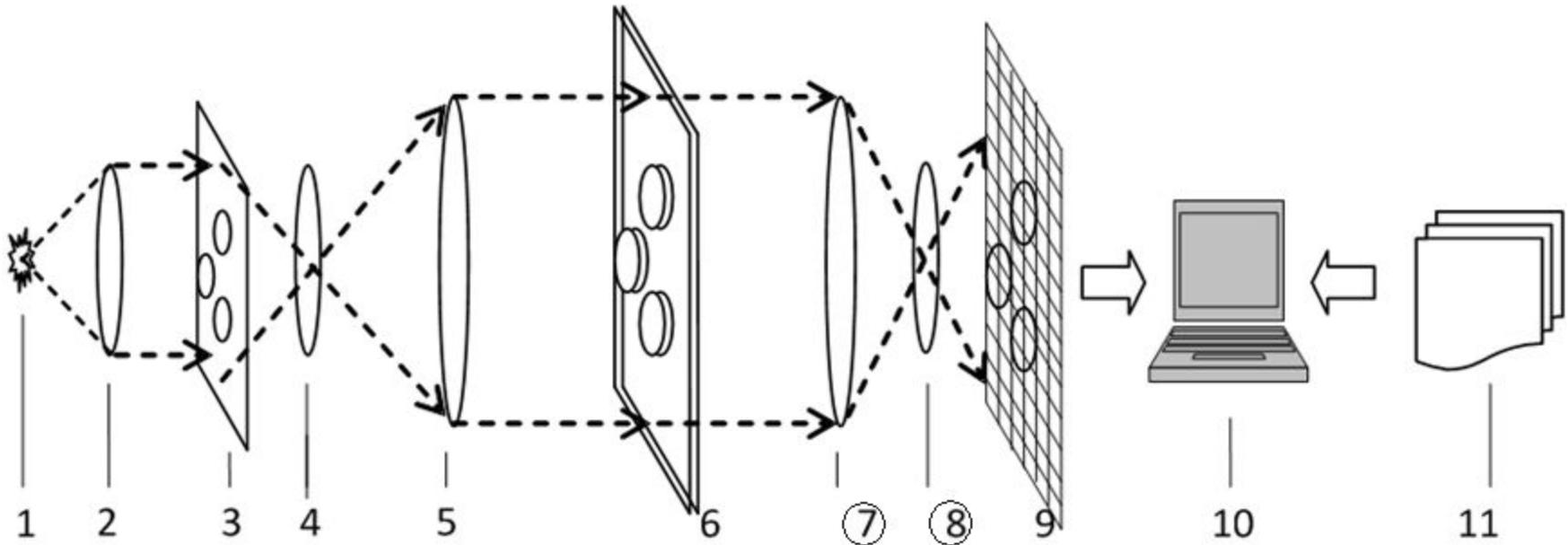
## Структурная схема СТЗ



*1* – источник освещения; *2* – коллиматор; *3* – объекты измерения на предметном стекле; *4, 5* – объектив; *6* – изображение объектов на матовом экране; *7, 8* – объектив; *9* – фотоматрица; *10* – персональный компьютер (ПК); *11* – программное обеспечение (ПО)



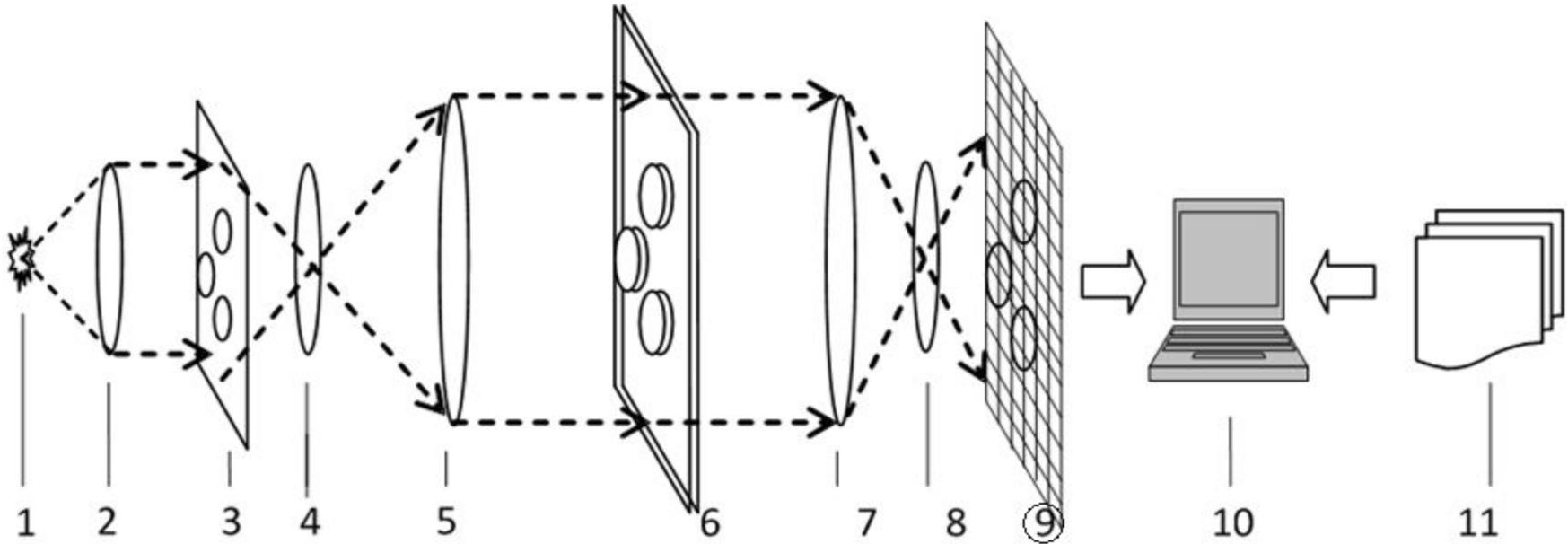
## Структурная схема СТЗ



1 – источник освещения; 2 – коллиматор; 3 – объекты измерения на предметном стекле; 4, 5 – объектив; 6 – изображение объектов на матовом экране; 7, 8 – объектив; 9 – фотоматрица; 10 – персональный компьютер (ПК); 11 – программное обеспечение (ПО)



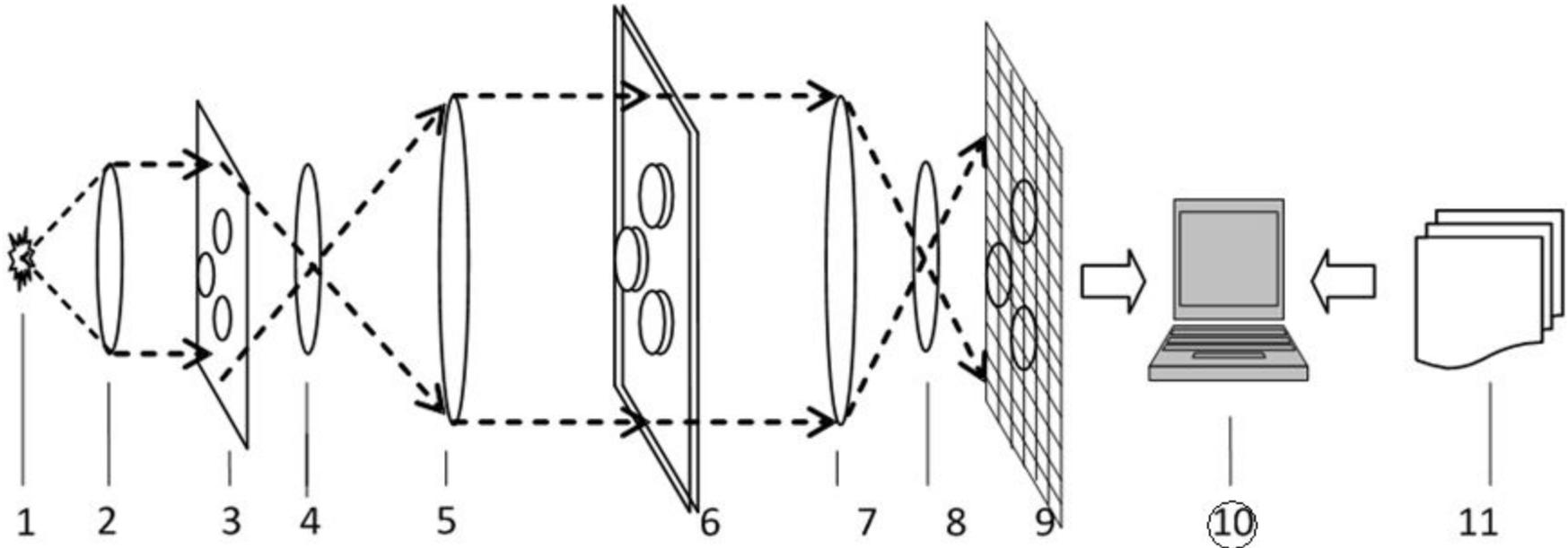
## Структурная схема СТЗ



1 – источник освещения; 2 – коллиматор; 3 – объекты измерения на предметном стекле; 4, 5 – объектив; 6 – изображение объектов на матовом экране; 7, 8 – объектив; 9 – фотоматрица; 10 – персональный компьютер (ПК); 11 – программное обеспечение (ПО)



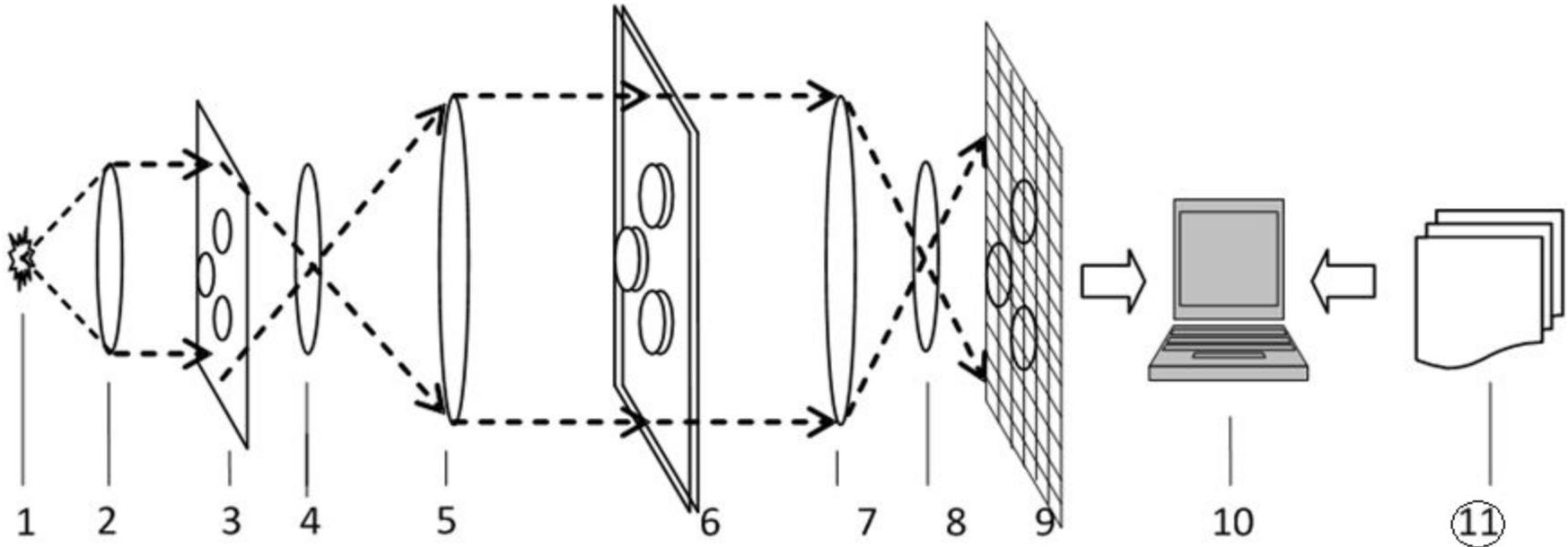
## Структурная схема СТЗ



1 – источник освещения; 2 – коллиматор; 3 – объекты измерения на предметном стекле; 4, 5 – объектив; 6 – изображение объектов на матовом экране; 7, 8 – объектив; 9 – фотоматрица; 10 – персональный компьютер (ПК); 11 – программное обеспечение (ПО)



## Структурная схема СТЗ



*1* – источник освещения; *2* – коллиматор; *3* – объекты измерения на предметном стекле; *4, 5* – объектив; *6* – изображение объектов на матовом экране; *7, 8* – объектив; *9* – фотоматрица; *10* – персональный компьютер (ПК); *11* – программное обеспечение (ПО)



Использование для технических измерений массово производимых видео- и фотокамер, сканеров, не предназначенных специально для промышленных применений, обусловлено их невысокой стоимостью и достаточно высокими техническими характеристиками.



Использование для технических измерений массово производимых видео- и фотокамер, сканеров, не предназначенных специально для промышленных применений, обусловлено их невысокой стоимостью и достаточно высокими техническими характеристиками.



Использование для технических измерений массово производимых видео- и фотокамер, сканеров, не предназначенных специально для промышленных применений, обусловлено их невысокой стоимостью и достаточно высокими техническими характеристиками.



«Следует также отметить, что Министерство обороны США аттестует ряд гражданских изделий, выпускаемых значительными тиражами в устойчивых технологических процессах, и дает разрешение на использование этих изделий в военной аппаратуре...».

Яков Федотов, д. т. н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, лауреат Ленинской премии.

Промышленные Ведомости  
17.07.2004



«Следует также отметить, что Министерство обороны США аттестует ряд гражданских изделий, выпускаемых значительными тиражами в устойчивых технологических процессах, и дает разрешение на использование этих изделий в военной аппаратуре...».

Яков Федотов, д. т. н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, лауреат Ленинской премии.

Промышленные Ведомости  
17.07.2004

- Основной проблемой является отсутствие данных о нормированных метрологических характеристиках таких изделий.
- Предложено и практически подтверждено решение этой проблемы на основе дифференциального метода измерений.
- При этом основной проблемой становится получение эталонного объекта.
- Предложен и запатентован метод калибровки, позволяющий использовать стандартные эталоны.



# Основные источники погрешности СТЗ



# Основные источники погрешности СТЗ

| Наименование | Обознач. | Физический механизм |
|--------------|----------|---------------------|
|--------------|----------|---------------------|



# Основные источники погрешности

## СТЗ

| Наименование   | Обознач. | Физический механизм |
|--|----------|---------------------|
| Первая группа погрешностей (внешние воздействия на объект измерения) |          |                     |



# Основные источники погрешности СТЗ

| Наименование   | Обознач.                  | Физический механизм |
|--|---------------------------|---------------------|
| Первая группа погрешностей (внешние воздействия на объект измерения) |                           |                     |
| Вибрация объекта   | $\varepsilon_{\text{ВО}}$ | Вибрация СТЗ        |



# Основные источники погрешности СТЗ

| Наименование   | Обознач.                  | Физический механизм                        |
|--|---------------------------|--|
| Первая группа погрешностей (внешние воздействия на объект измерения) |                           |  |
| Вибрация объекта   | $\varepsilon_{\text{ВО}}$ | Вибрация СТЗ                               |
| Температура  | $\varepsilon_{\text{T}}$  | Температурное расширение объекта измерения |



# Основные источники погрешности СТЗ

| Наименование   | Обознач.                  | Физический механизм                        |
|--|---------------------------|--|
| Первая группа погрешностей (внешние воздействия на объект измерения) |                           |  |
| Вибрация объекта   | $\varepsilon_{\text{ВО}}$ | Вибрация СТЗ                               |
| Температура  | $\varepsilon_{\text{T}}$  | Температурное расширение объекта измерения |
| Загрязнение  | $\varepsilon_{\text{з}}$  | Пылевидные частицы и заусенцы              |



# Основные источники погрешности СТЗ

| Наименование   | Обознач.                  | Физический механизм                        |
|--|---------------------------|--|
| Первая группа погрешностей (внешние воздействия на объект измерения) |                           |  |
| Вибрация объекта   | $\varepsilon_{\text{ВО}}$ | Вибрация СТЗ                               |
| Температура  | $\varepsilon_{\text{T}}$  | Температурное расширение объекта измерения |
| Загрязнение  | $\varepsilon_{\text{з}}$  | Пылевидные частицы и заусенцы              |
| Вторая группа (погрешности внутри СТЗ)                               |                           |  |



# Основные источники погрешности СТЗ

| Наименование   | Обознач.                   | Физический механизм                        |
|--|----------------------------|--|
| Первая группа погрешностей (внешние воздействия на объект измерения) |                            |  |
| Вибрация объекта   | $\varepsilon_{\text{ВО}}$  | Вибрация СТЗ                               |
| Температура  | $\varepsilon_{\text{T}}$   | Температурное расширение объекта измерения |
| Загрязнение  | $\varepsilon_{\text{з}}$   | Пылевидные частицы и заусенцы              |
| Вторая группа (погрешности внутри СТЗ)                               |                            |  |
| Средняя сила света   | $\varepsilon_{\text{Icp}}$ | Нестабильность питающего напряжения        |



# Основные источники погрешности СТЗ

| Наименование   | Обознач.   | Физический механизм                        |
|--|--|--|
| Первая группа погрешностей (внешние воздействия на объект измерения) |  |  |
| Вибрация объекта   | $\varepsilon_{\text{ВО}}$                          | Вибрация СТЗ                               |
| Температура  | $\varepsilon_{\text{T}}$                           | Температурное расширение объекта измерения |
| Загрязнение  | $\varepsilon_{\text{з}}$                           | Пылевидные частицы и заусенцы              |
| Вторая группа (погрешности внутри СТЗ)                               |  |  |
| Средняя сила света   | $\varepsilon_{\text{Icp}}$                         | Нестабильность питающего напряжения        |
| Оптика   | $\varepsilon_{\text{оп}}, \varepsilon_{\text{ок}}$ | Дифракция и аберрации                      |



# Основные источники погрешности СТЗ

| Наименование   | Обознач.   | Физический механизм                        |
|--|--|--|
| Первая группа погрешностей (внешние воздействия на объект измерения) |  |  |
| Вибрация объекта   | $\varepsilon_{\text{ВО}}$                          | Вибрация СТЗ                               |
| Температура  | $\varepsilon_{\text{T}}$                           | Температурное расширение объекта измерения |
| Загрязнение  | $\varepsilon_{\text{З}}$                           | Пылевидные частицы и заусенцы              |
| Вторая группа (погрешности внутри СТЗ)                               |  |  |
| Средняя сила света   | $\varepsilon_{\text{Icp}}$                         | Нестабильность питающего напряжения        |
| Оптика   | $\varepsilon_{\text{ОП}}, \varepsilon_{\text{ОК}}$ | Дифракция и аберрации                      |
| Диффузная область  | $\varepsilon_{\text{ФД}}$                          | Рассеивание света на экране                |



# Основные источники погрешности СТЗ

| Наименование   | Обознач.   | Физический механизм                        |
|--|--|--|
| Первая группа погрешностей (внешние воздействия на объект измерения) |  |  |
| Вибрация объекта   | $\varepsilon_{\text{ВО}}$                          | Вибрация СТЗ                               |
| Температура  | $\varepsilon_{\text{T}}$                           | Температурное расширение объекта измерения |
| Загрязнение  | $\varepsilon_{\text{з}}$                           | Пылевидные частицы и заусенцы              |
| Вторая группа (погрешности внутри СТЗ)                               |  |  |
| Средняя сила света   | $\varepsilon_{\text{Icp}}$                         | Нестабильность питающего напряжения        |
| Оптика   | $\varepsilon_{\text{оп}}, \varepsilon_{\text{ок}}$ | Дифракция и аберрации                      |
| Диффузная область  | $\varepsilon_{\text{фд}}$                          | Рассеивание света на экране                |
| Вибрация камеры  | $\varepsilon_{\text{вк}}$                          | Вибрация СТЗ                               |



# Основные источники погрешности СТЗ

| Наименование   | Обознач.   | Физический механизм                        |
|--|--|--|
| Первая группа погрешностей (внешние воздействия на объект измерения) |  |  |
| Вибрация объекта   | $\varepsilon_{\text{ВО}}$                          | Вибрация СТЗ                               |
| Температура  | $\varepsilon_{\text{T}}$                           | Температурное расширение объекта измерения |
| Загрязнение  | $\varepsilon_{\text{з}}$                           | Пылевидные частицы и заусенцы              |
| Вторая группа (погрешности внутри СТЗ)                               |  |  |
| Средняя сила света   | $\varepsilon_{\text{Icp}}$                         | Нестабильность питающего напряжения        |
| Оптика   | $\varepsilon_{\text{оп}}, \varepsilon_{\text{ок}}$ | Дифракция и аберрации                      |
| Диффузная область  | $\varepsilon_{\text{фд}}$                          | Рассеивание света на экране                |
| Вибрация камеры  | $\varepsilon_{\text{вк}}$                          | Вибрация СТЗ                               |
| Фотоматрица  | $\varepsilon_{\text{фм}}$                          | Дискретизация изображения                  |



# Основные источники погрешности СТЗ

| Наименование   | Обознач.   | Физический механизм                        |
|--|--|--|
| Первая группа погрешностей (внешние воздействия на объект измерения) |  |  |
| Вибрация объекта   | $\varepsilon_{\text{ВО}}$                          | Вибрация СТЗ                               |
| Температура  | $\varepsilon_{\text{T}}$                           | Температурное расширение объекта измерения |
| Загрязнение  | $\varepsilon_{\text{з}}$                           | Пылевидные частицы и заусенцы              |
| Вторая группа (погрешности внутри СТЗ)                               |  |  |
| Средняя сила света   | $\varepsilon_{\text{Icp}}$                         | Нестабильность питающего напряжения        |
| Оптика   | $\varepsilon_{\text{оп}}, \varepsilon_{\text{ок}}$ | Дифракция и аберрации                      |
| Диффузная область  | $\varepsilon_{\text{фд}}$                          | Рассеивание света на экране                |
| Вибрация камеры  | $\varepsilon_{\text{вк}}$                          | Вибрация СТЗ                               |
| Фотоматрица  | $\varepsilon_{\text{фм}}$                          | Дискретизация изображения                  |
| Уровень яркости  | $\varepsilon_{\text{уя}}$                          | Изменение яркости и искажение изображения  |



# Основные источники погрешности СТЗ

| Наименование   | Обознач.   | Физический механизм                        |
|--|--|--|
| Первая группа погрешностей (внешние воздействия на объект измерения)     |  |  |
| Вибрация объекта   | $\varepsilon_{\text{ВО}}$                          | Вибрация СТЗ                               |
| Температура  | $\varepsilon_{\text{T}}$                           | Температурное расширение объекта измерения |
| Загрязнение  | $\varepsilon_{\text{з}}$                           | Пылевидные частицы и заусенцы              |
| Вторая группа (погрешности внутри СТЗ)                                   |  |  |
| Средняя сила света   | $\varepsilon_{\text{Icp}}$                         | Нестабильность питающего напряжения        |
| Оптика   | $\varepsilon_{\text{оп}}, \varepsilon_{\text{ок}}$ | Дифракция и аберрации                      |
| Диффузная область  | $\varepsilon_{\text{фд}}$                          | Рассеивание света на экране                |
| Вибрация камеры  | $\varepsilon_{\text{вк}}$                          | Вибрация СТЗ                               |
| Фотоматрица  | $\varepsilon_{\text{фм}}$                          | Дискретизация изображения                  |
| Уровень яркости  | $\varepsilon_{\text{уя}}$                          | Изменение яркости и искажение изображения  |
| Вторичные погрешности (возникают при устранении погрешностей двух групп) |  |  |



# Основные источники погрешности СТЗ

| Наименование   | Обознач.   | Физический механизм                        |
|--|--|--|
| Первая группа погрешностей (внешние воздействия на объект измерения)     |  |  |
| Вибрация объекта   | $\varepsilon_{\text{ВО}}$                          | Вибрация СТЗ                               |
| Температура  | $\varepsilon_{\text{T}}$                           | Температурное расширение объекта измерения |
| Загрязнение  | $\varepsilon_{\text{з}}$                           | Пылевидные частицы и заусенцы              |
| Вторая группа (погрешности внутри СТЗ)                                   |  |  |
| Средняя сила света   | $\varepsilon_{\text{Icp}}$                         | Нестабильность питающего напряжения        |
| Оптика   | $\varepsilon_{\text{ОП}}, \varepsilon_{\text{ОК}}$ | Дифракция и аберрации                      |
| Диффузная область  | $\varepsilon_{\text{ФД}}$                          | Рассеивание света на экране                |
| Вибрация камеры  | $\varepsilon_{\text{ВК}}$                          | Вибрация СТЗ                               |
| Фотоматрица  | $\varepsilon_{\text{ФМ}}$                          | Дискретизация изображения                  |
| Уровень яркости  | $\varepsilon_{\text{УЯ}}$                          | Изменение яркости и искажение изображения  |
| Вторичные погрешности (возникают при устранении погрешностей двух групп) |  |  |
| Фильтры ФД, ФР   | $\varepsilon_{\text{ФД}}, \varepsilon_{\text{ФР}}$ | Изменение яркости и искажение изображения  |



# Основные источники погрешности СТЗ

| Наименование   | Обознач.   | Физический механизм                           |
|--|--|---|
| Первая группа погрешностей (внешние воздействия на объект измерения)     |  |   |
| Вибрация объекта   | $\varepsilon_{\text{ВО}}$                          | Вибрация СТЗ                                  |
| Температура  | $\varepsilon_{\text{T}}$                           | Температурное расширение объекта измерения    |
| Загрязнение  | $\varepsilon_{\text{з}}$                           | Пылевидные частицы и заусенцы                 |
| Вторая группа (погрешности внутри СТЗ)                                   |  |   |
| Средняя сила света   | $\varepsilon_{\text{Icp}}$                         | Нестабильность питающего напряжения           |
| Оптика   | $\varepsilon_{\text{ОП}}, \varepsilon_{\text{ОК}}$ | Дифракция и аберрации                         |
| Диффузная область  | $\varepsilon_{\text{ФД}}$                          | Рассеивание света на экране                   |
| Вибрация камеры  | $\varepsilon_{\text{ВК}}$                          | Вибрация СТЗ                                  |
| Фотоматрица  | $\varepsilon_{\text{ФМ}}$                          | Дискретизация изображения                     |
| Уровень яркости  | $\varepsilon_{\text{УЯ}}$                          | Изменение яркости и искажение изображения     |
| Вторичные погрешности (возникают при устранении погрешностей двух групп) |  |   |
| Фильтры ФД, ФР   | $\varepsilon_{\text{ФД}}, \varepsilon_{\text{ФР}}$ | Изменение яркости и искажение изображения     |
| Фильтр Гаусса  | $\varepsilon_{\text{ФГ}}$                          | Учет соседних пикселей, искажение изображения |



# Основные источники погрешности СТЗ

| Наименование   | Обознач.   | Физический механизм                           |
|--|--|---|
| Первая группа погрешностей (внешние воздействия на объект измерения)     |  |   |
| Вибрация объекта   | $\varepsilon_{\text{ВО}}$                          | Вибрация СТЗ                                  |
| Температура  | $\varepsilon_{\text{T}}$                           | Температурное расширение объекта измерения    |
| Загрязнение  | $\varepsilon_{\text{з}}$                           | Пылевидные частицы и заусенцы                 |
| Вторая группа (погрешности внутри СТЗ)                                   |  |   |
| Средняя сила света   | $\varepsilon_{\text{Icp}}$                         | Нестабильность питающего напряжения           |
| Оптика   | $\varepsilon_{\text{ОП}}, \varepsilon_{\text{ОК}}$ | Дифракция и аберрации                         |
| Диффузная область  | $\varepsilon_{\text{ФД}}$                          | Рассеивание света на экране                   |
| Вибрация камеры  | $\varepsilon_{\text{ВК}}$                          | Вибрация СТЗ                                  |
| Фотоматрица  | $\varepsilon_{\text{ФМ}}$                          | Дискретизация изображения                     |
| Уровень яркости  | $\varepsilon_{\text{УЯ}}$                          | Изменение яркости и искажение изображения     |
| Вторичные погрешности (возникают при устранении погрешностей двух групп) |  |   |
| Фильтры ФД, ФР   | $\varepsilon_{\text{ФД}}, \varepsilon_{\text{ФР}}$ | Изменение яркости и искажение изображения     |
| Фильтр Гаусса  | $\varepsilon_{\text{ФГ}}$                          | Учет соседних пикселей, искажение изображения |
| Градиентный фильтр   | $\varepsilon_{\text{ГФ}}$                          | Формирование границ и искажение изображения   |



# Основные источники погрешности СТЗ

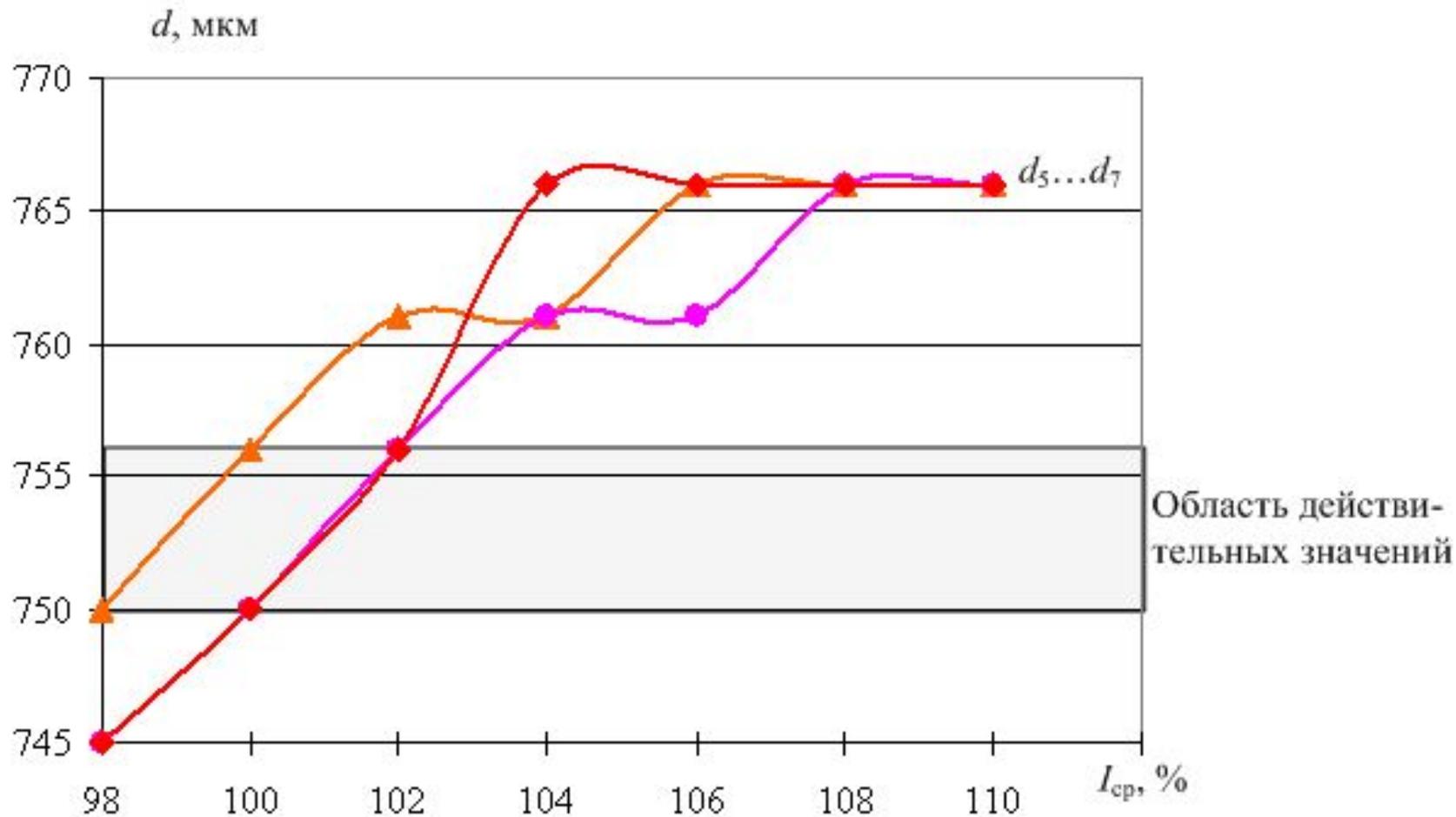
| Наименование   | Обознач.   | Физический механизм                           |
|--|--|---|
| Первая группа погрешностей (внешние воздействия на объект измерения)     |  |   |
| Вибрация объекта   | $\varepsilon_{\text{ВО}}$                          | Вибрация СТЗ                                  |
| Температура  | $\varepsilon_{\text{T}}$                           | Температурное расширение объекта измерения    |
| Загрязнение  | $\varepsilon_{\text{з}}$                           | Пылевидные частицы и заусенцы                 |
| Вторая группа (погрешности внутри СТЗ)                                   |  |   |
| Средняя сила света   | $\varepsilon_{\text{Icp}}$                         | Нестабильность питающего напряжения           |
| Оптика   | $\varepsilon_{\text{ОП}}, \varepsilon_{\text{ОК}}$ | Дифракция и аберрации                         |
| Диффузная область  | $\varepsilon_{\text{ФД}}$                          | Рассеивание света на экране                   |
| Вибрация камеры  | $\varepsilon_{\text{ВК}}$                          | Вибрация СТЗ                                  |
| Фотоматрица  | $\varepsilon_{\text{ФМ}}$                          | Дискретизация изображения                     |
| Уровень яркости  | $\varepsilon_{\text{УЯ}}$                          | Изменение яркости и искажение изображения     |
| Вторичные погрешности (возникают при устранении погрешностей двух групп) |  |   |
| Фильтры ФД, ФР   | $\varepsilon_{\text{ФД}}, \varepsilon_{\text{ФР}}$ | Изменение яркости и искажение изображения     |
| Фильтр Гаусса  | $\varepsilon_{\text{ФГ}}$                          | Учет соседних пикселей, искажение изображения |
| Градиентный фильтр   | $\varepsilon_{\text{ГФ}}$                          | Формирование границ и искажение изображения   |
| Кодирование  | $\varepsilon_{\text{КД}}$                          | Размытость границ и искажение изображения     |



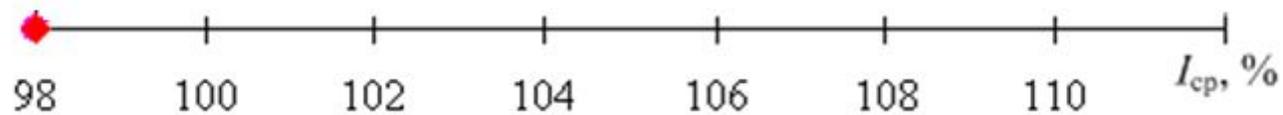
# Результаты измерений с применением фильтра на диффузно рассеивающей области (ФД)



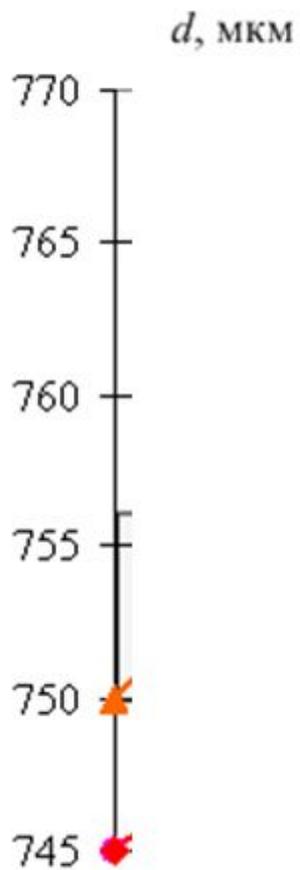
# Результаты измерений с применением фильтра на диффузно рассеивающей области (ФД)



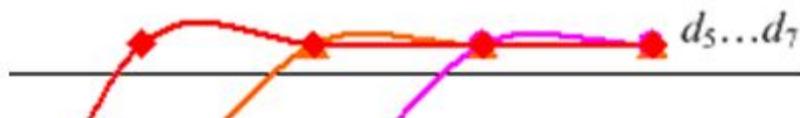
# Результаты измерений с применением фильтра на диффузно рассеивающей области (ФД)



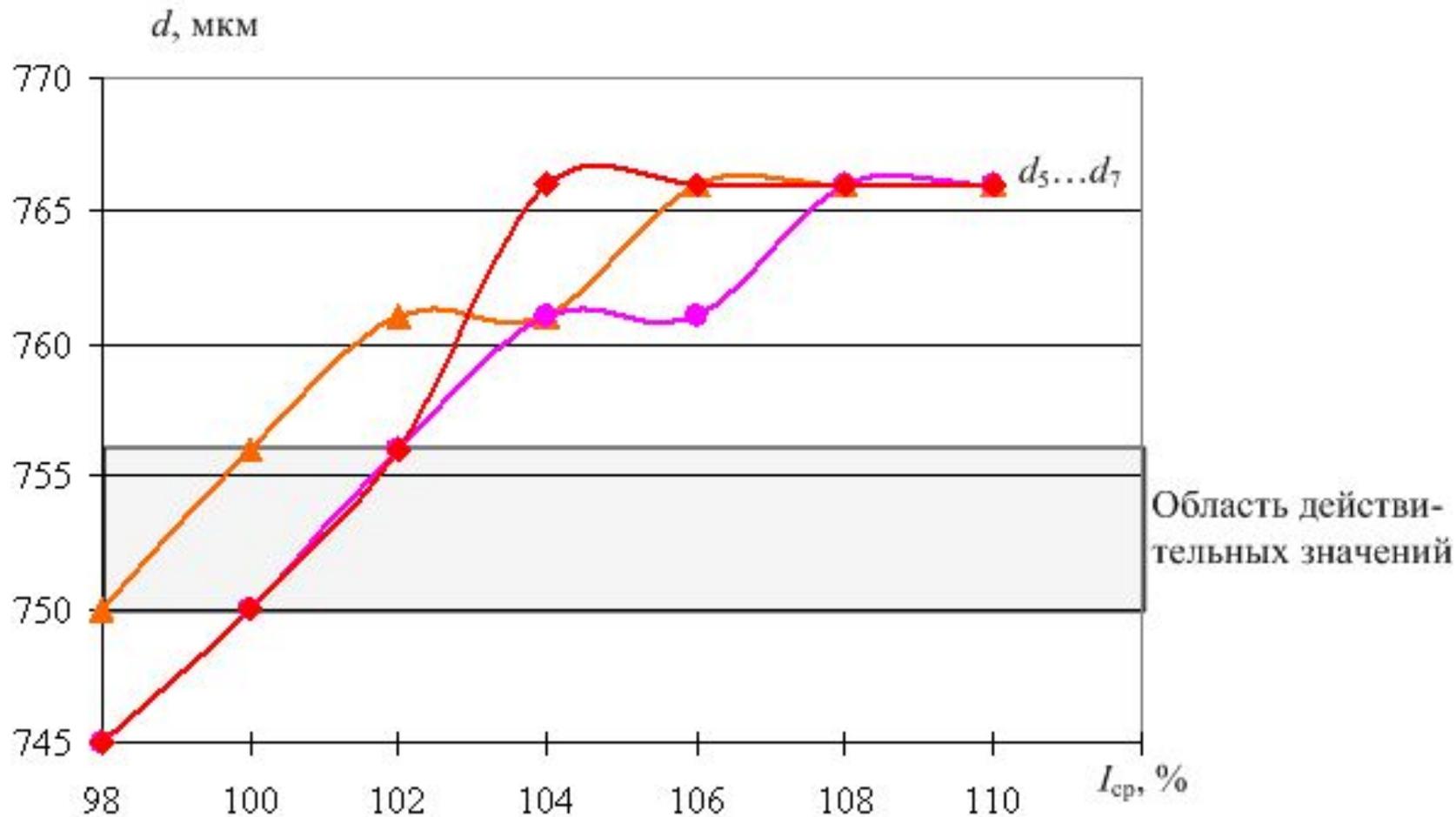
# Результаты измерений с применением фильтра на диффузно рассеивающей области (ФД)



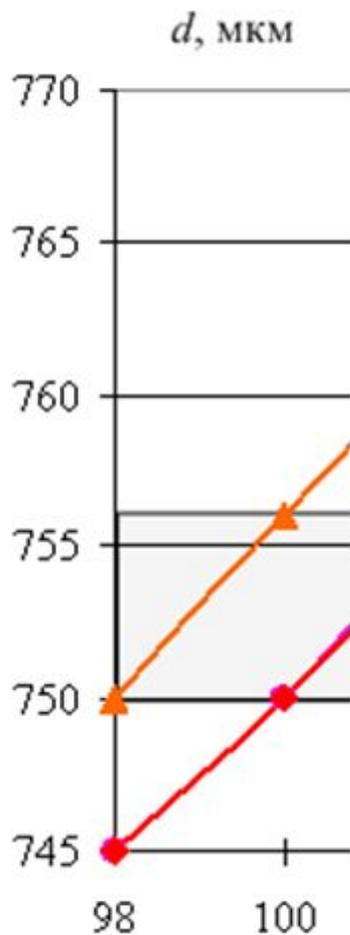
# Результаты измерений с применением фильтра на диффузно рассеивающей области (ФД)



# Результаты измерений с применением фильтра на диффузно рассеивающей области (ФД)



# Результаты измерений с применением фильтра на диффузно рассеивающей области (ФД)

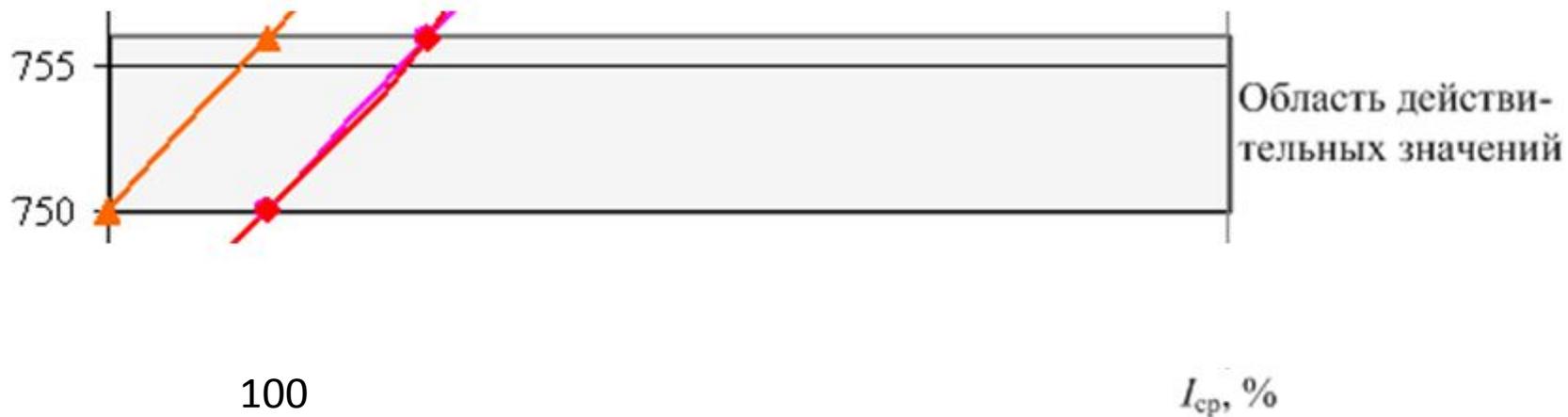


$I_{cp}$ , %

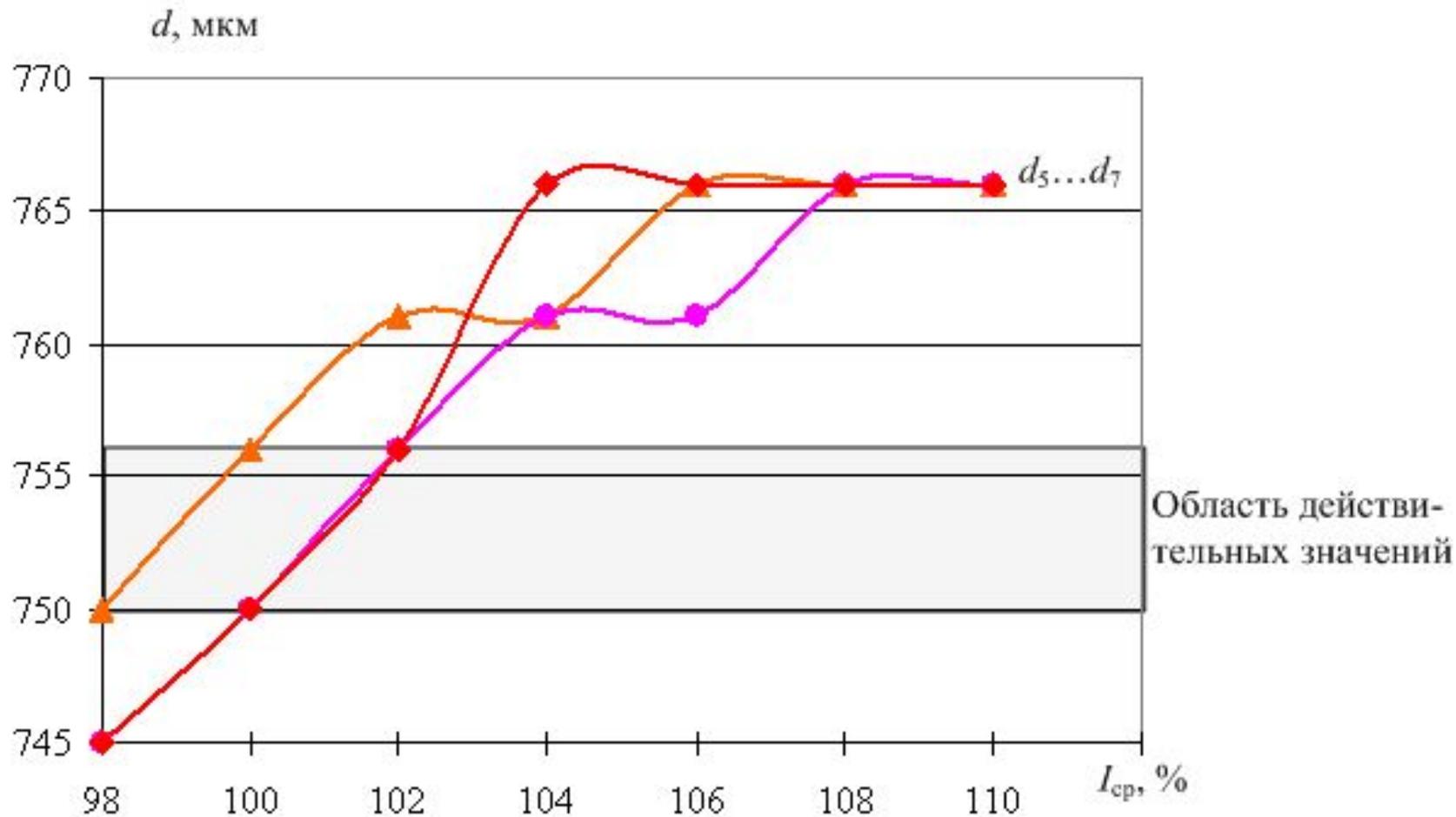


# Результаты измерений с применением фильтра на диффузно рассеивающей области (ФД)

$d$ , мкм

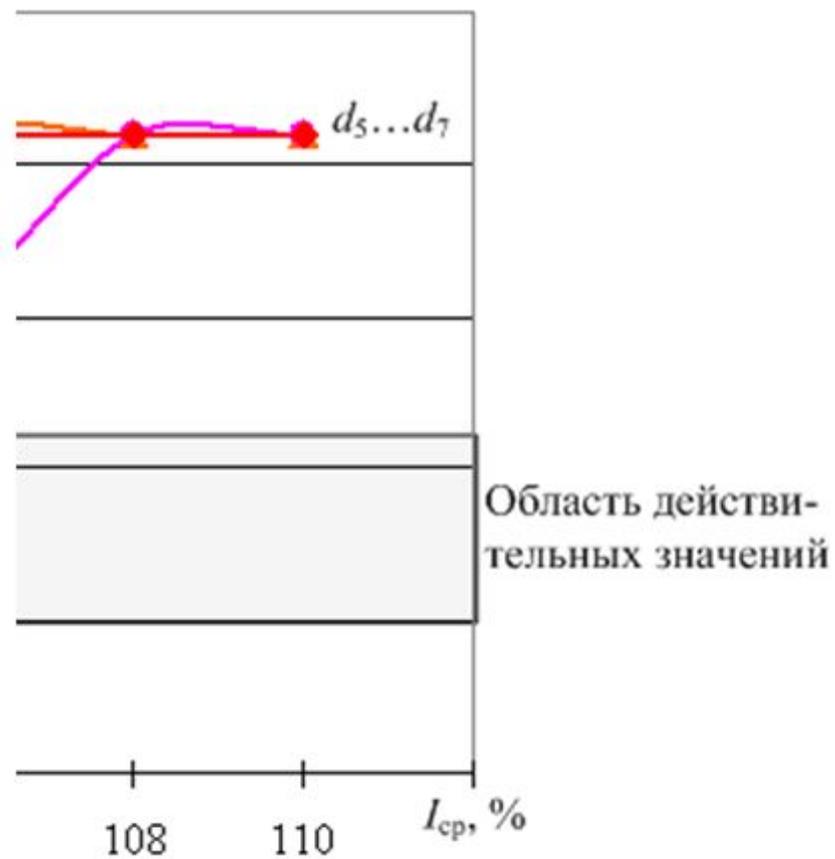


# Результаты измерений с применением фильтра на диффузно рассеивающей области (ФД)

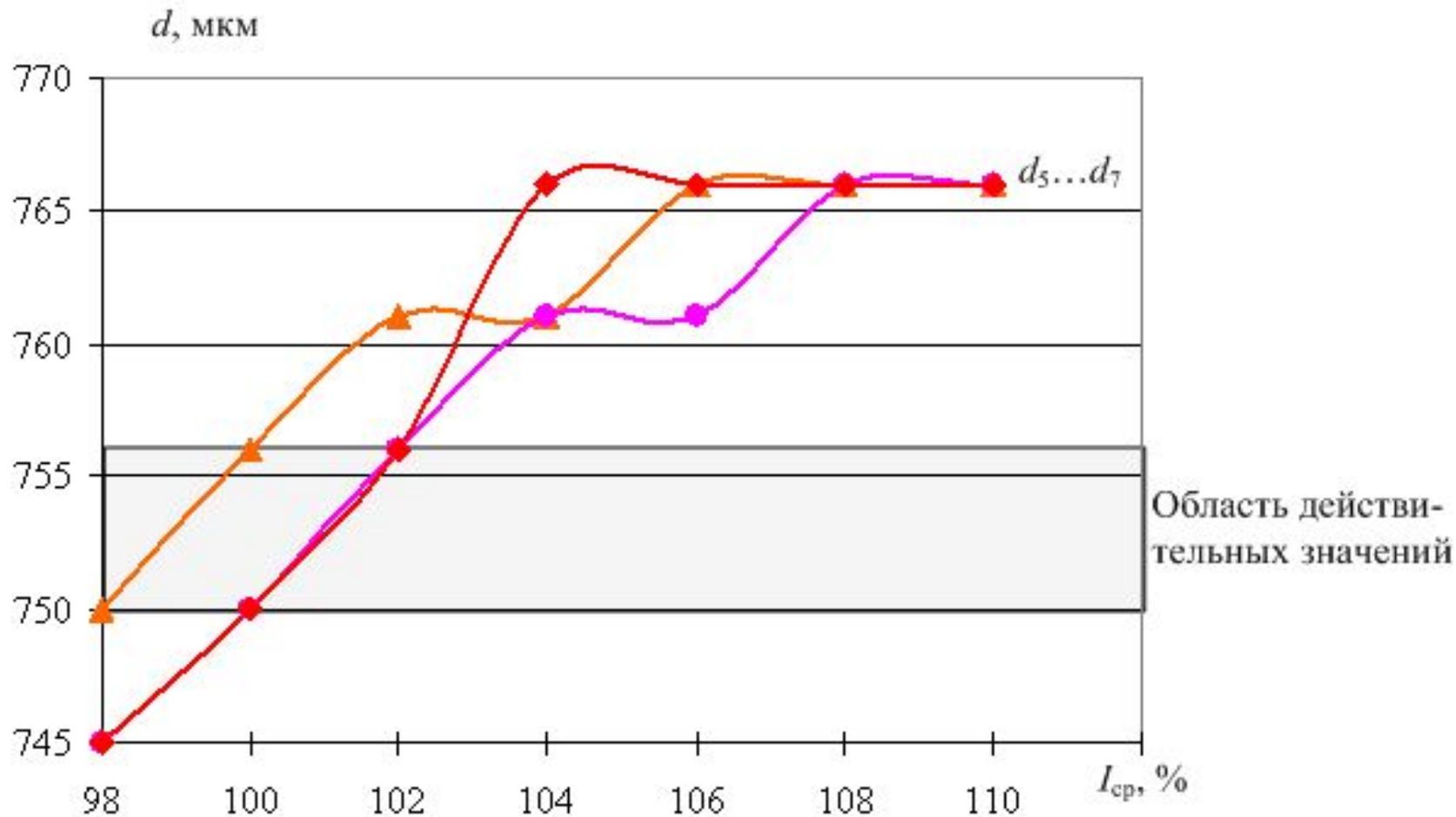


# Результаты измерений с применением фильтра на диффузно рассеивающей области (ФД)

$d$ , мкм



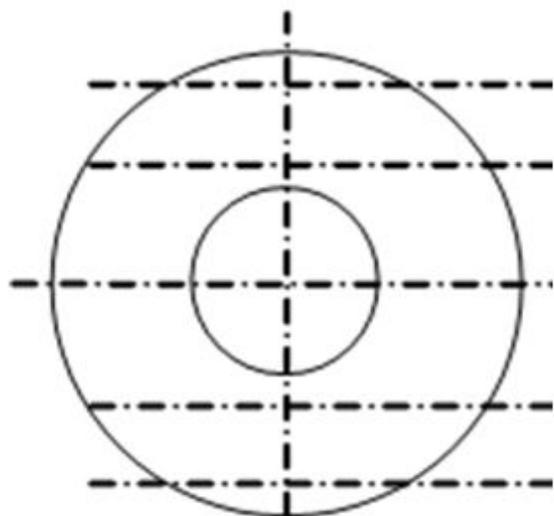
# Результаты измерений с применением фильтра на диффузно рассеивающей области (ФД)



# Искажение изображений на поверхности матового слоя



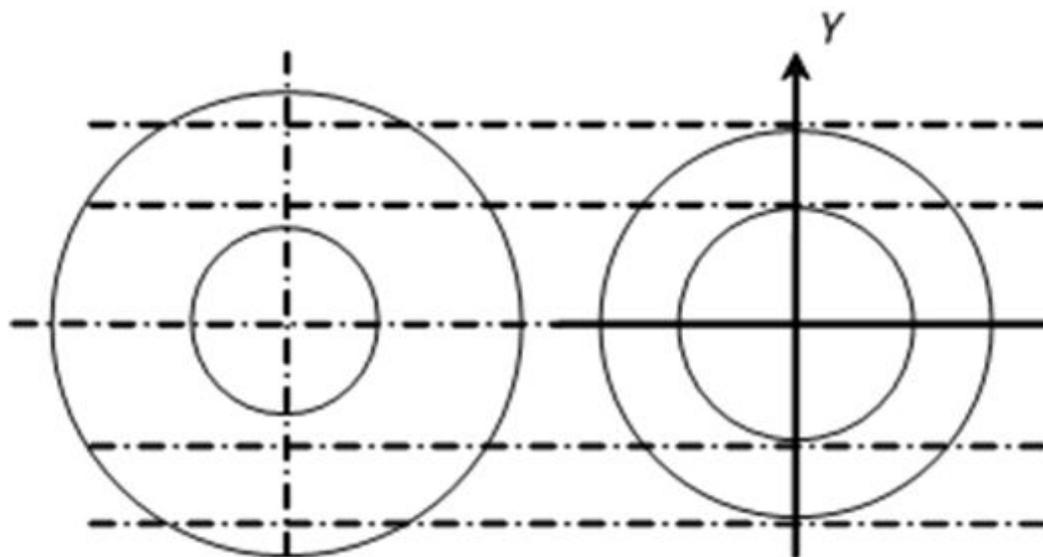
# Искажение изображений на поверхности матового слоя



Объект  
измерения



# Искажение изображений на поверхности матового слоя

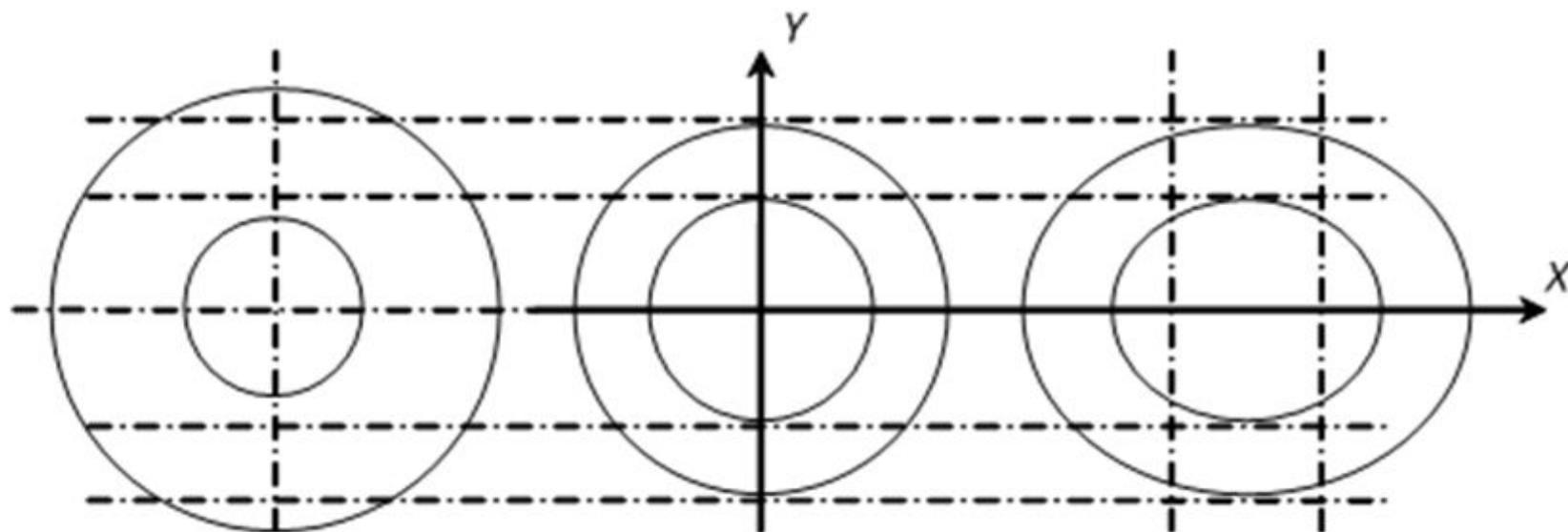


Объект  
измерения

Изображение  
в центре



# Искажение изображений на поверхности матового слоя



Объект  
измерения

Изображение  
в центре

Изображение  
на периферии

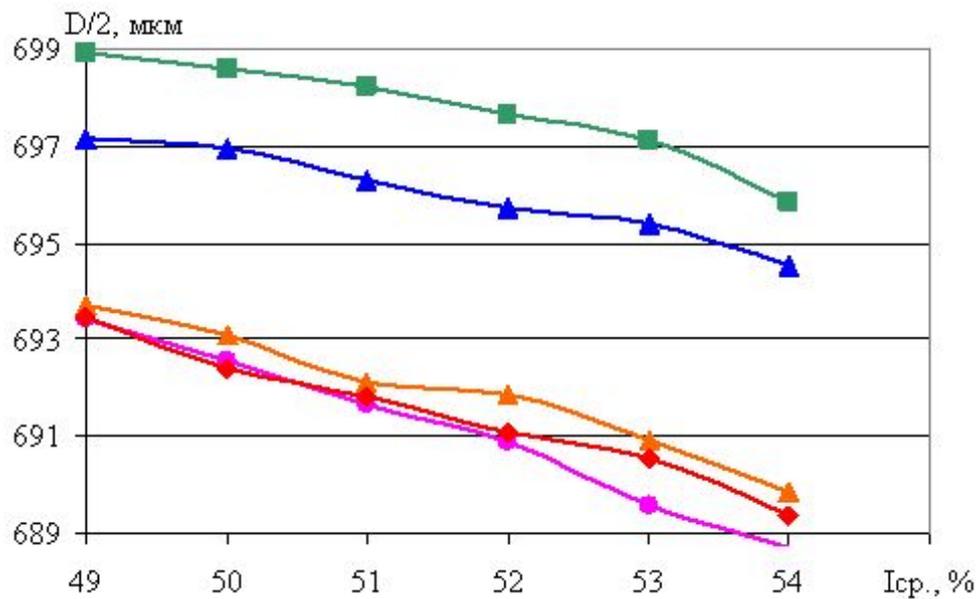


# Изменение диаметра на изображении объекта измерения при увеличении силы света



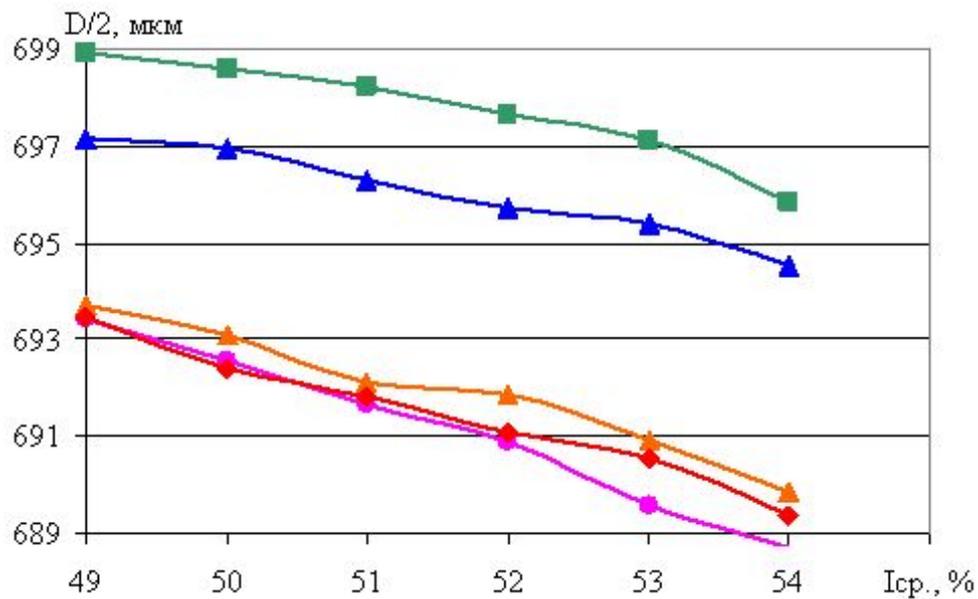
# Изменение диаметра на изображении объекта измерения при увеличении силы света

Внешний диаметр  
уменьшается

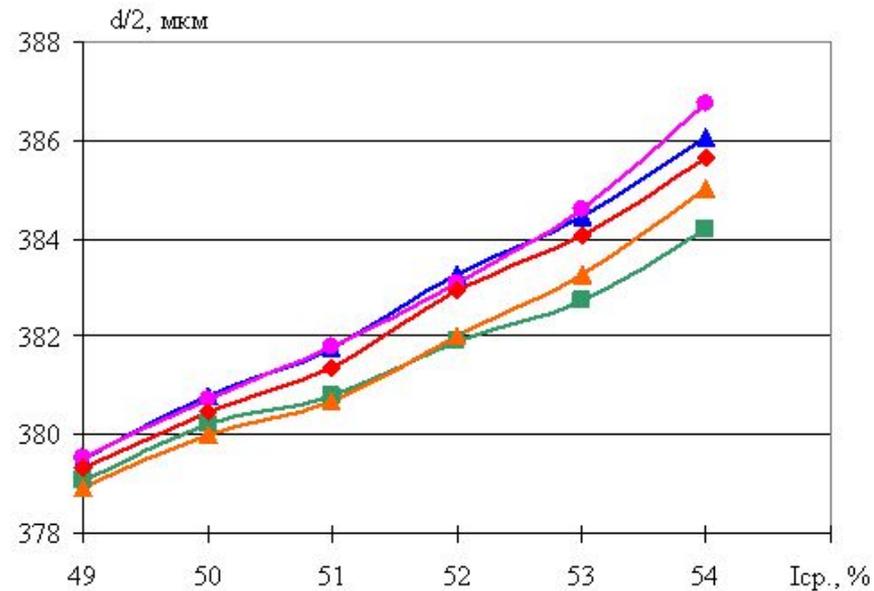


# Изменение диаметра на изображении объекта измерения при увеличении силы света

Внешний диаметр  
уменьшается



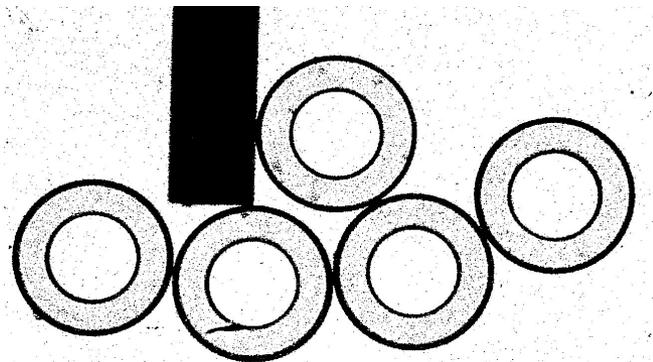
Внутренний диаметр  
увеличивается



# Метод калибровки яркости (МКЯ) и метод соприкасающихся объектов (МСО)



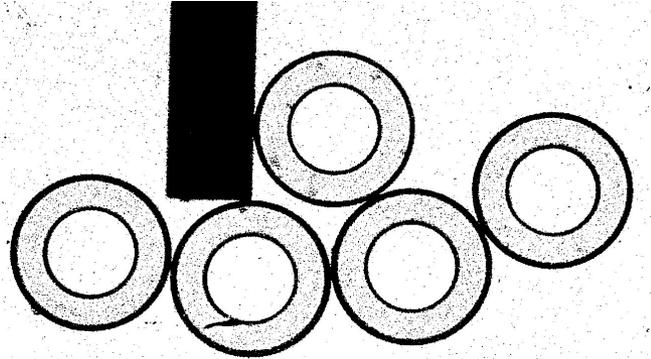
# Метод калибровки яркости (МКЯ) и метод соприкасающихся объектов (МСО)



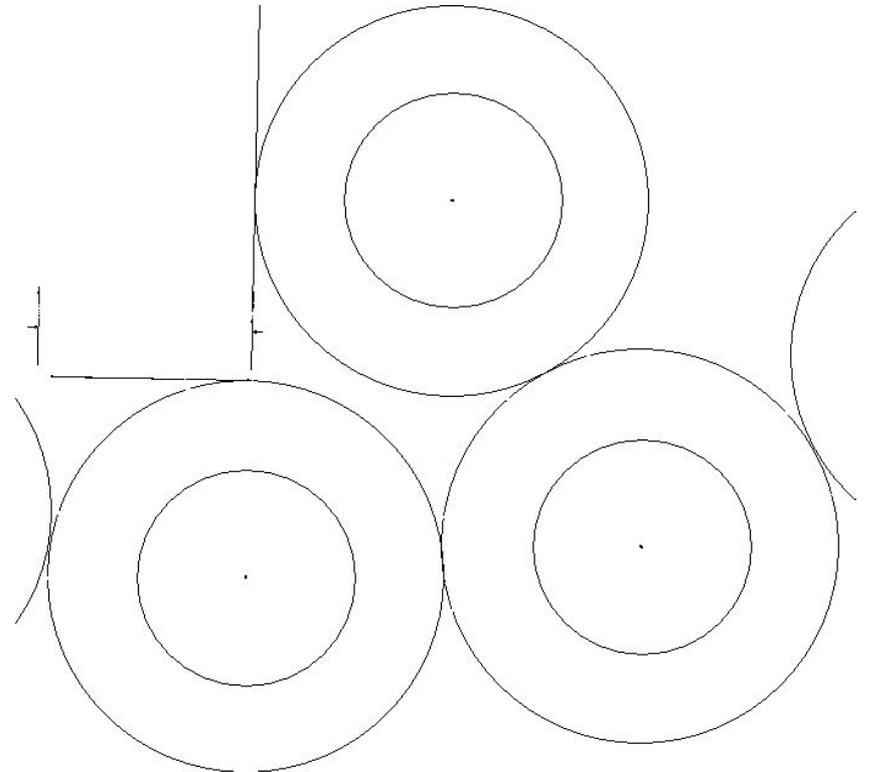
Пространство предметов, где вместе с  
эталонным объектом (черный прямоугольник)  
размещены объекты измерения (кольца)



# Метод калибровки яркости (МКЯ) и метод соприкасающихся объектов (МСО)



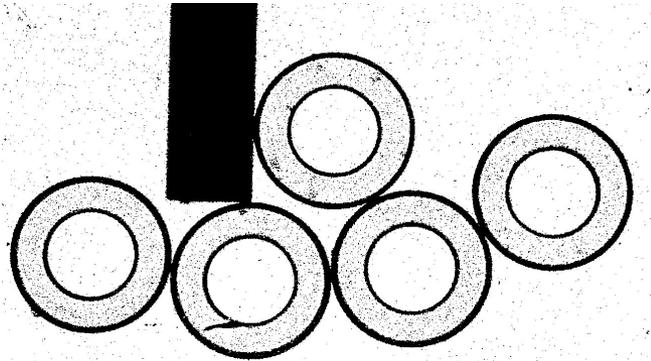
Пространство предметов, где вместе с эталонным объектом (черный прямоугольник) размещены объекты измерения (кольца)



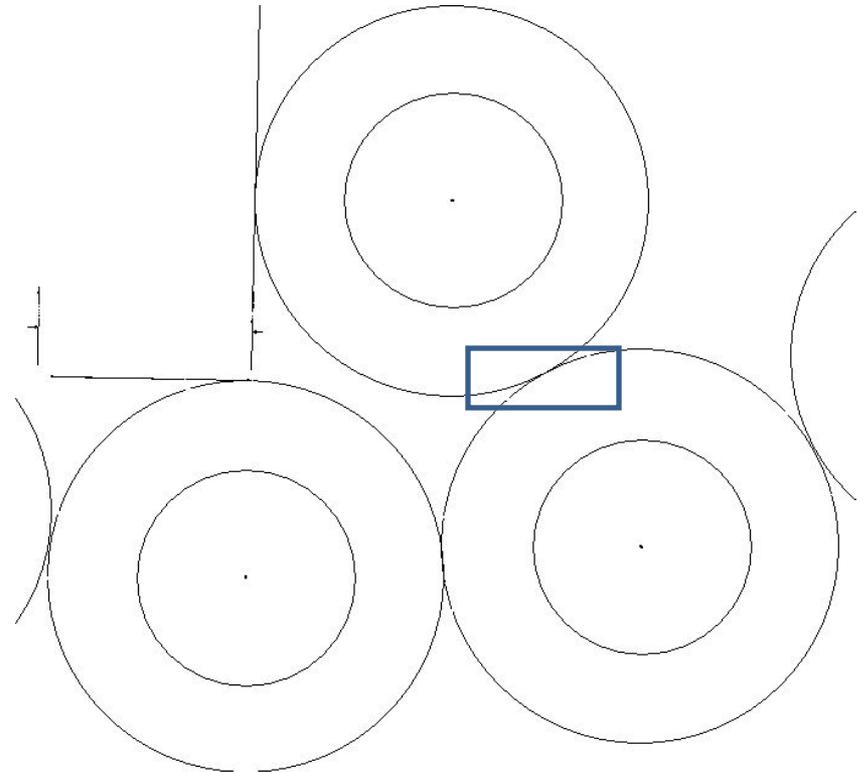
Изображение, сформированное системой технического зрения



# Метод калибровки яркости (МКЯ) и метод соприкасающихся объектов (МСО)



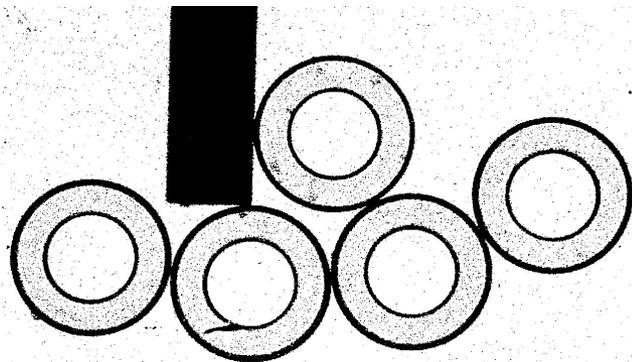
Пространство предметов, где вместе с эталонным объектом (черный прямоугольник) размещены объекты измерения (кольца)



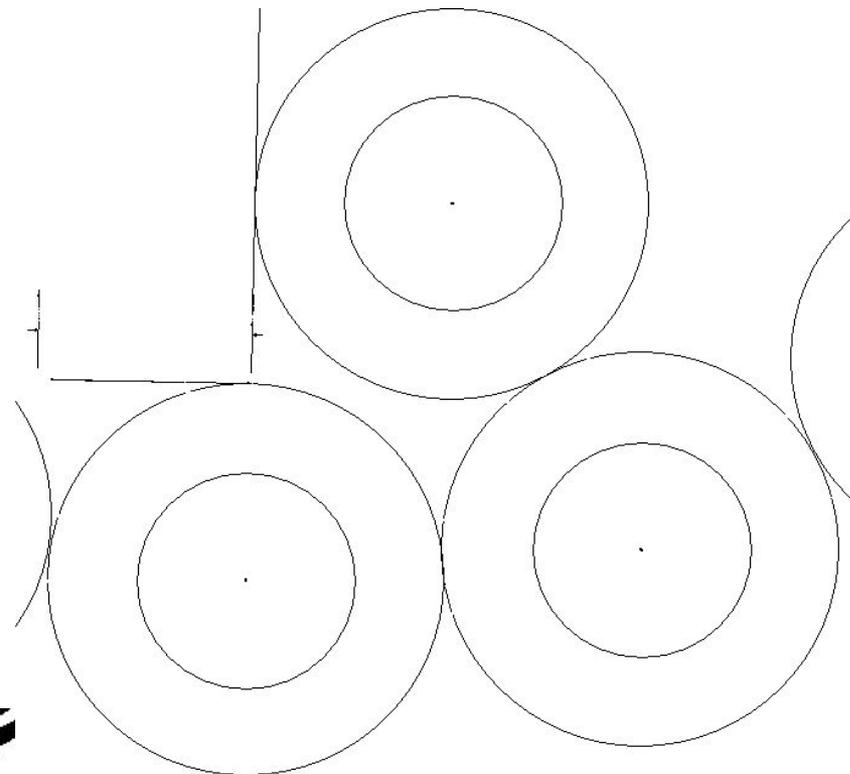
Изображение, сформированное системой технического зрения



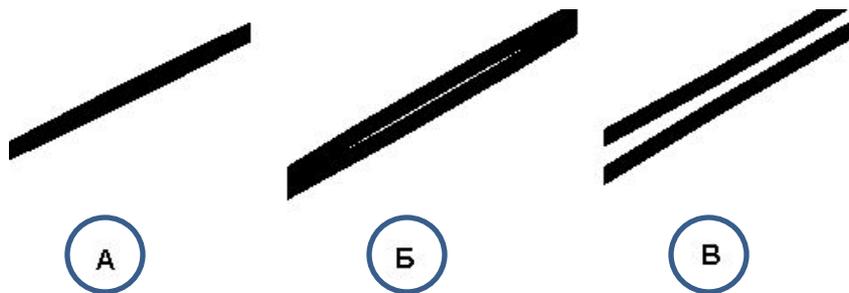
# Метод калибровки яркости (МКЯ) и метод соприкасающихся объектов (МСО)



Пространство предметов, где вместе с эталонным объектом (черный прямоугольник) размещены объекты измерения (кольца)



Изображение, сформированное системой технического зрения



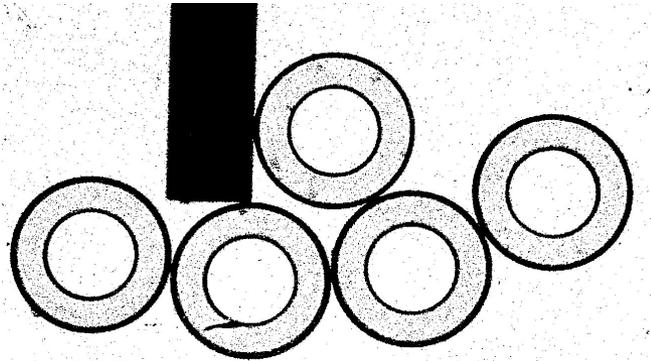
А

Б

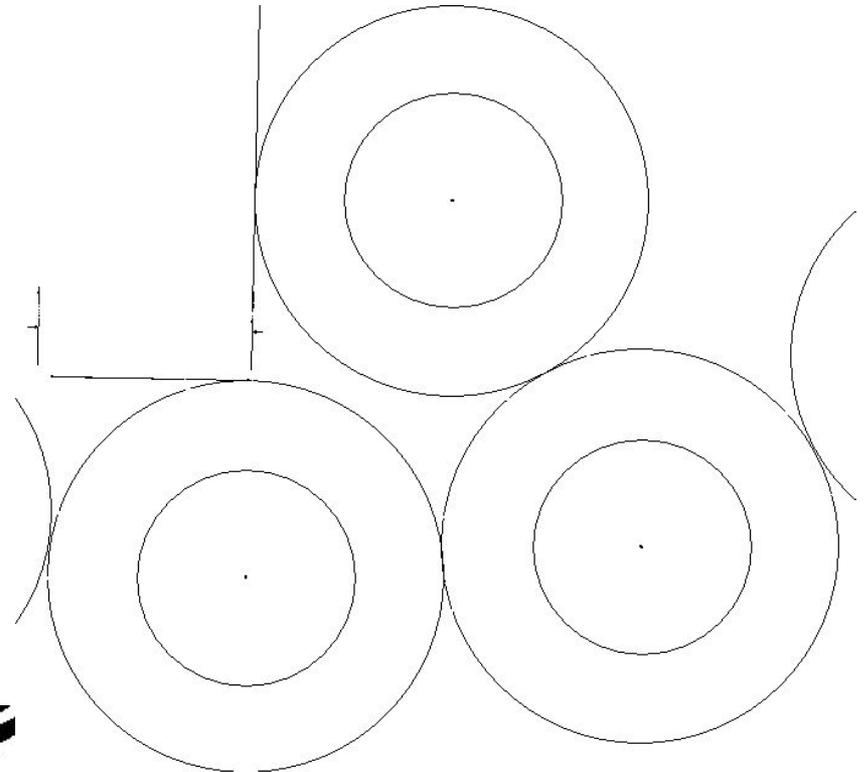
Б



# Метод калибровки яркости (МКЯ) и метод соприкасающихся объектов (МСО)



Пространство предметов, где вместе с эталонным объектом (черный прямоугольник) размещены объекты измерения (кольца)



Изображение, сформированное системой технического зрения



А

Б

Б

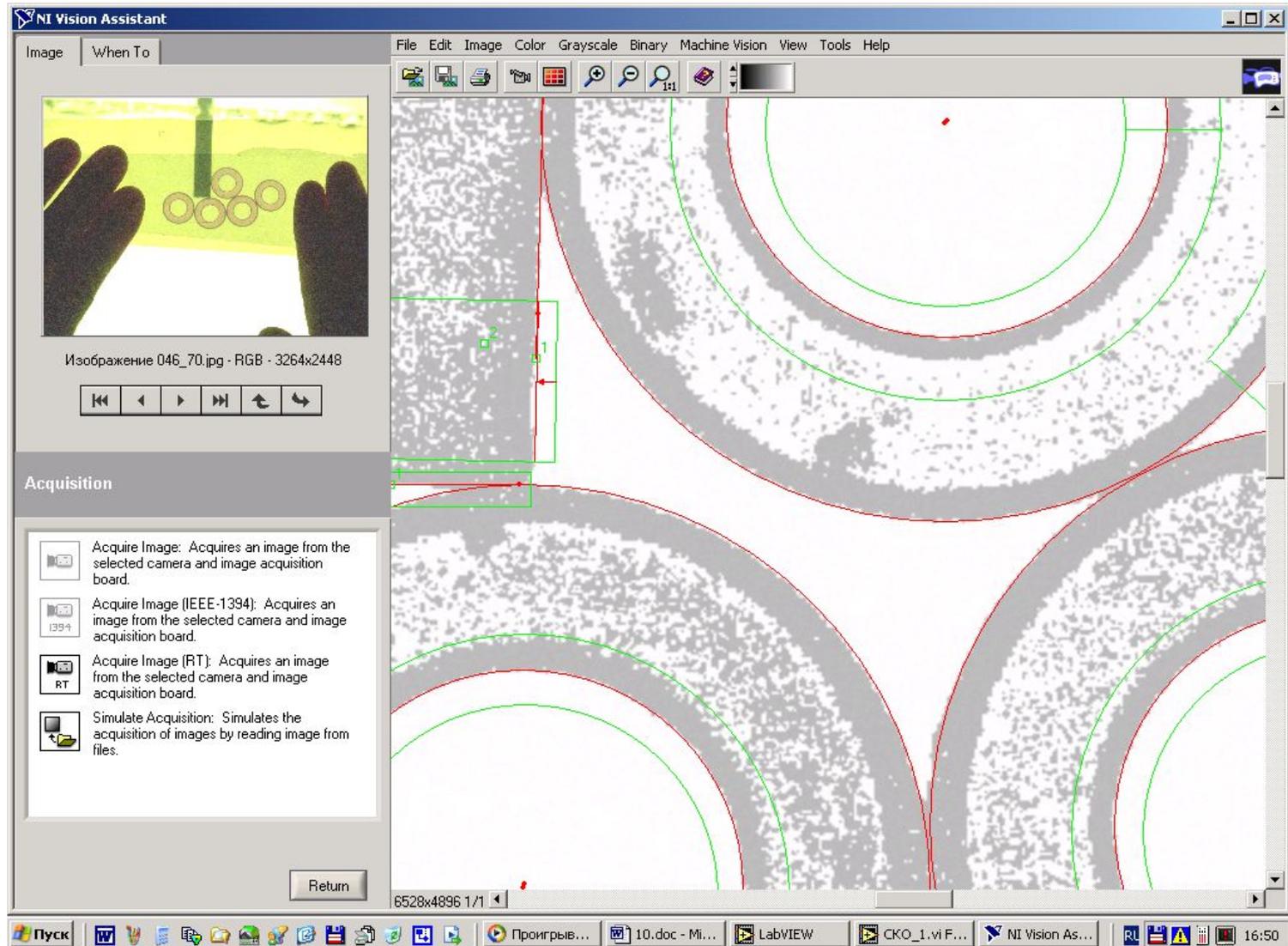
Фрагменты изображений двух объектов, в увеличенном виде наблюдаемых на мониторе; соприкосновение выполнено на позиции А



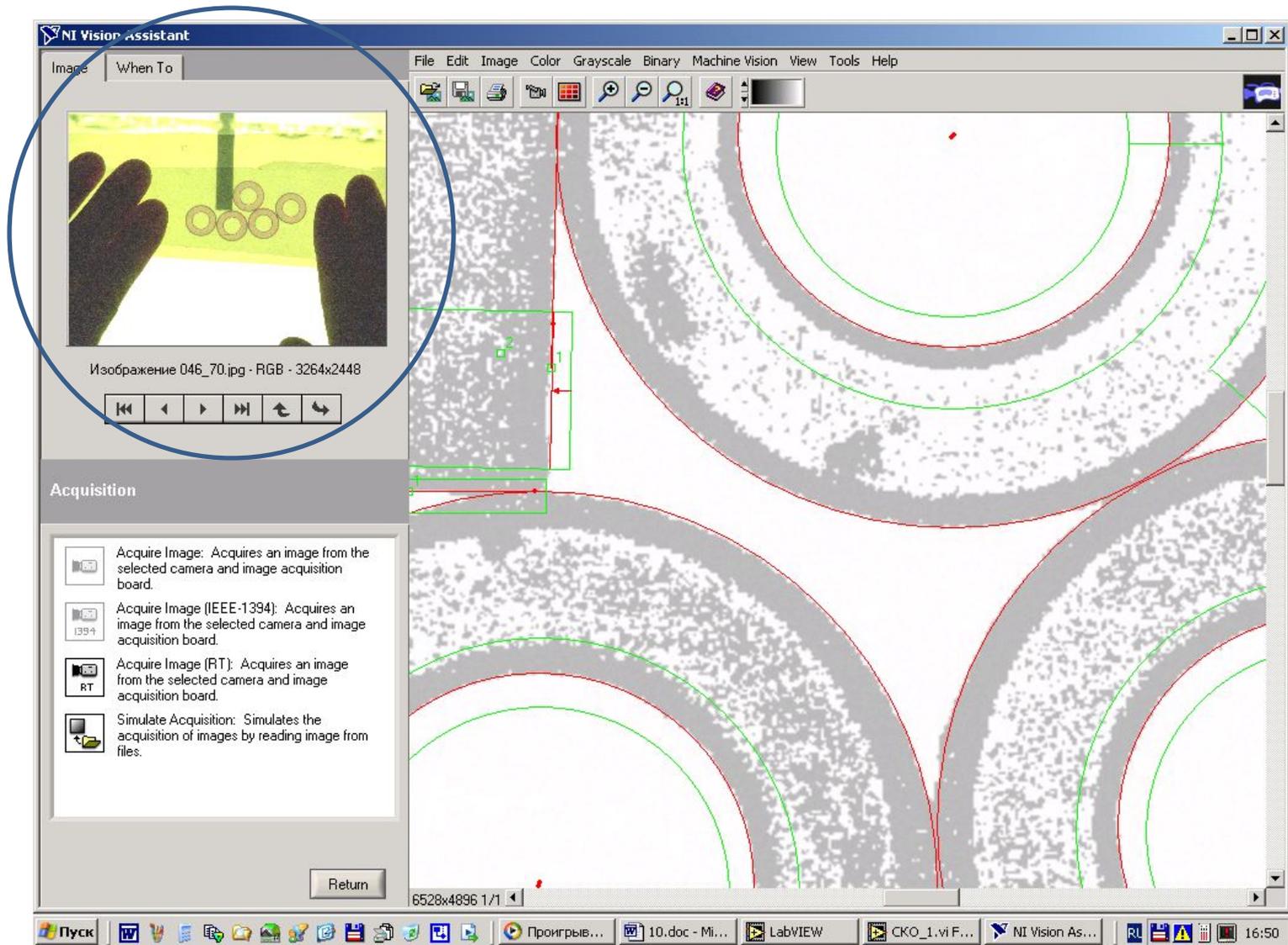
# Принцип действия метода соприкасающихся объектов



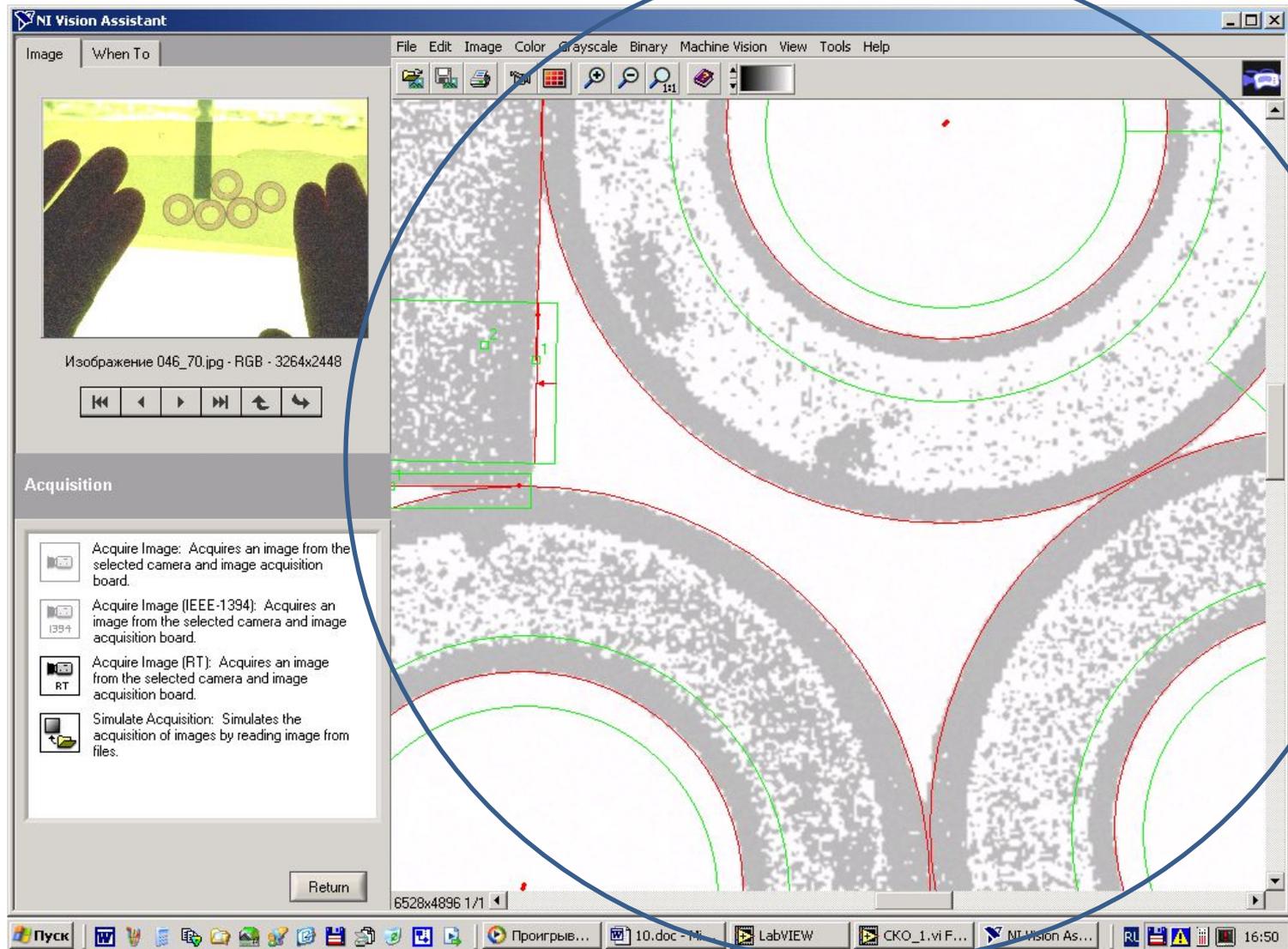
# Принцип действия метода соприкасающихся объектов



# Принцип действия метода соприкасающихся объектов



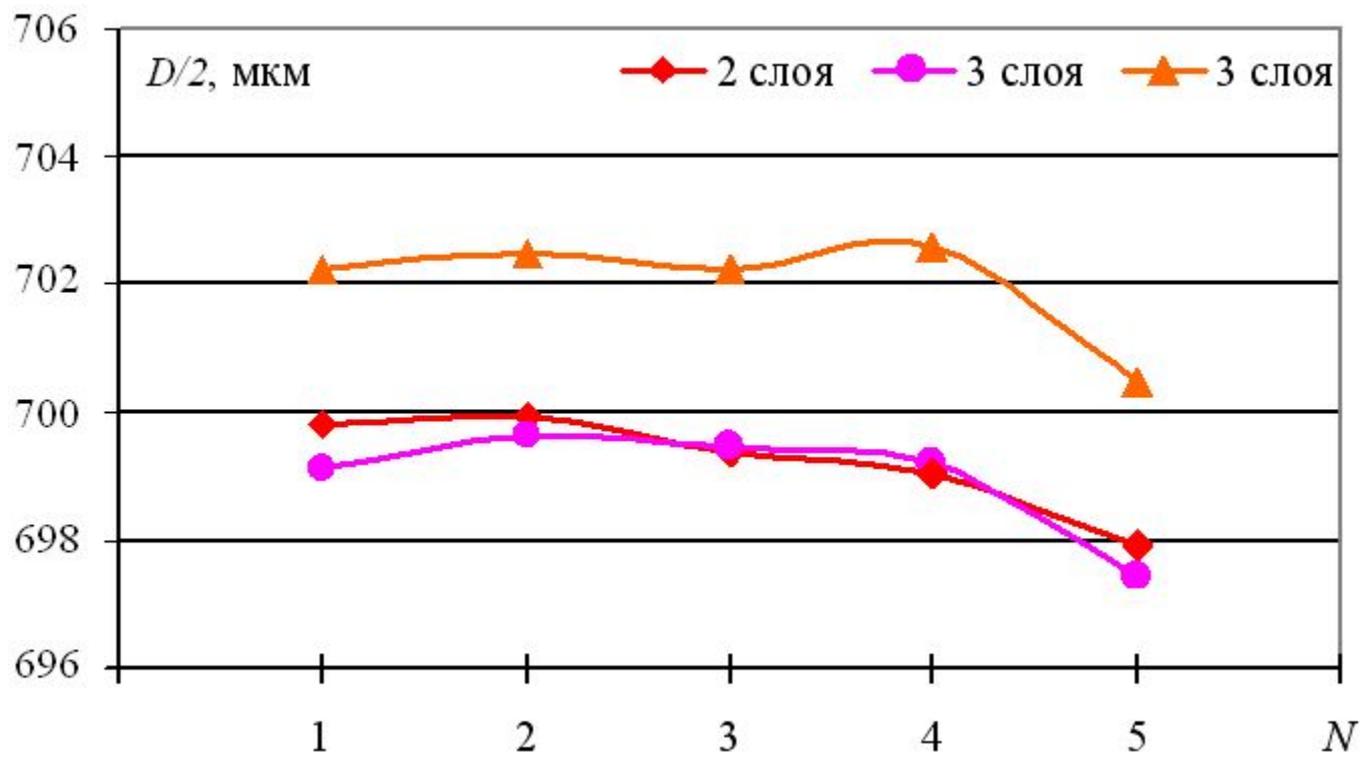
# Принцип действия метода соприкасающихся объектов



# Результаты калибровки системы технического зрения по методу соприкасающихся объектов



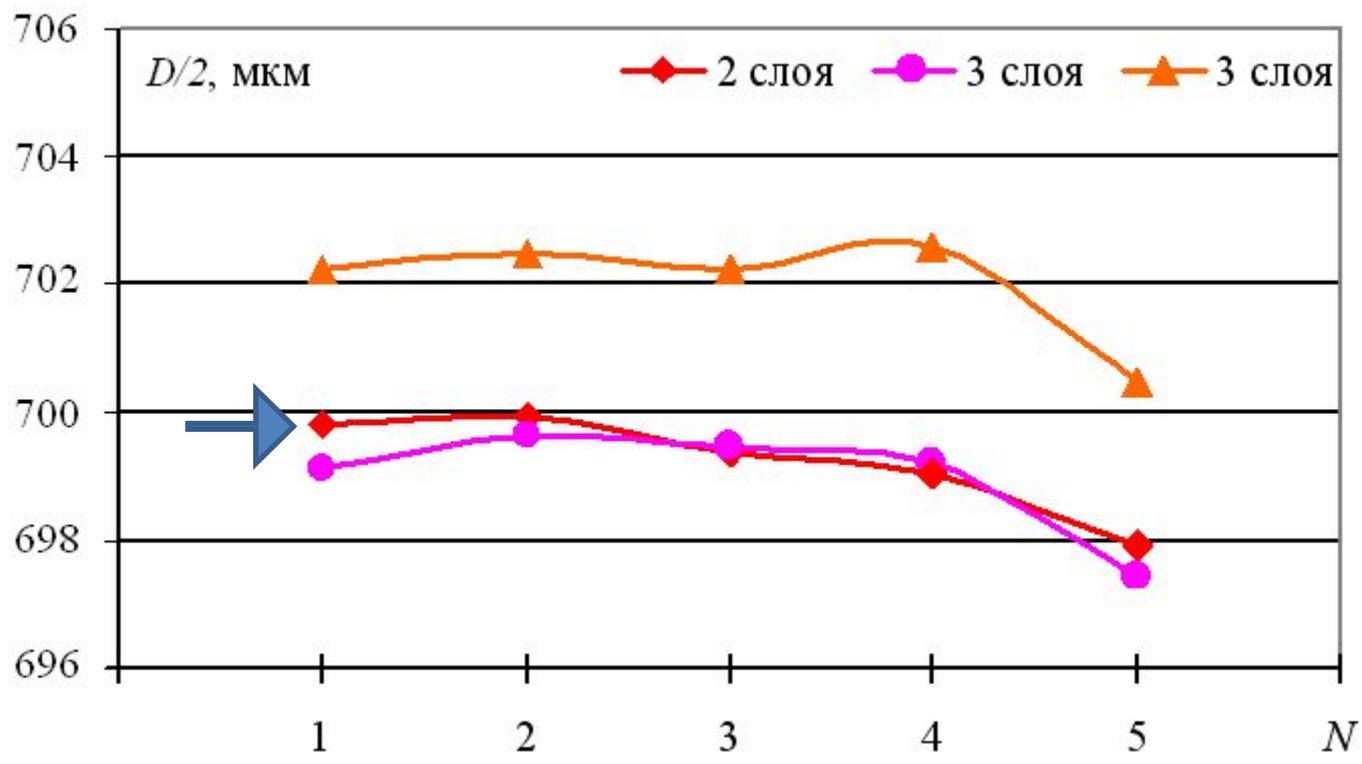
# Результаты калибровки системы технического зрения по методу соприкасающихся объектов



$N$  – порядковый номер объекта измерения



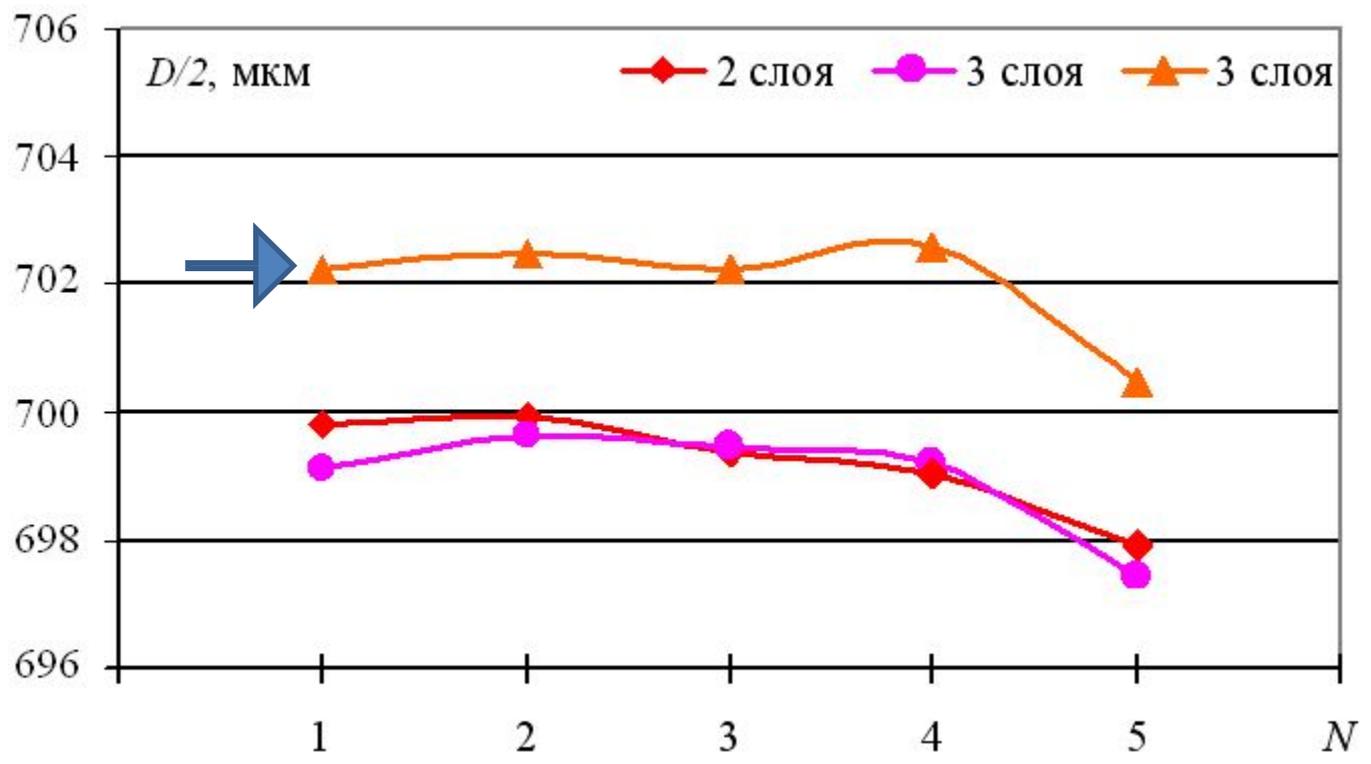
# Результаты калибровки системы технического зрения по методу соприкасающихся объектов



$N$  – порядковый номер объекта измерения



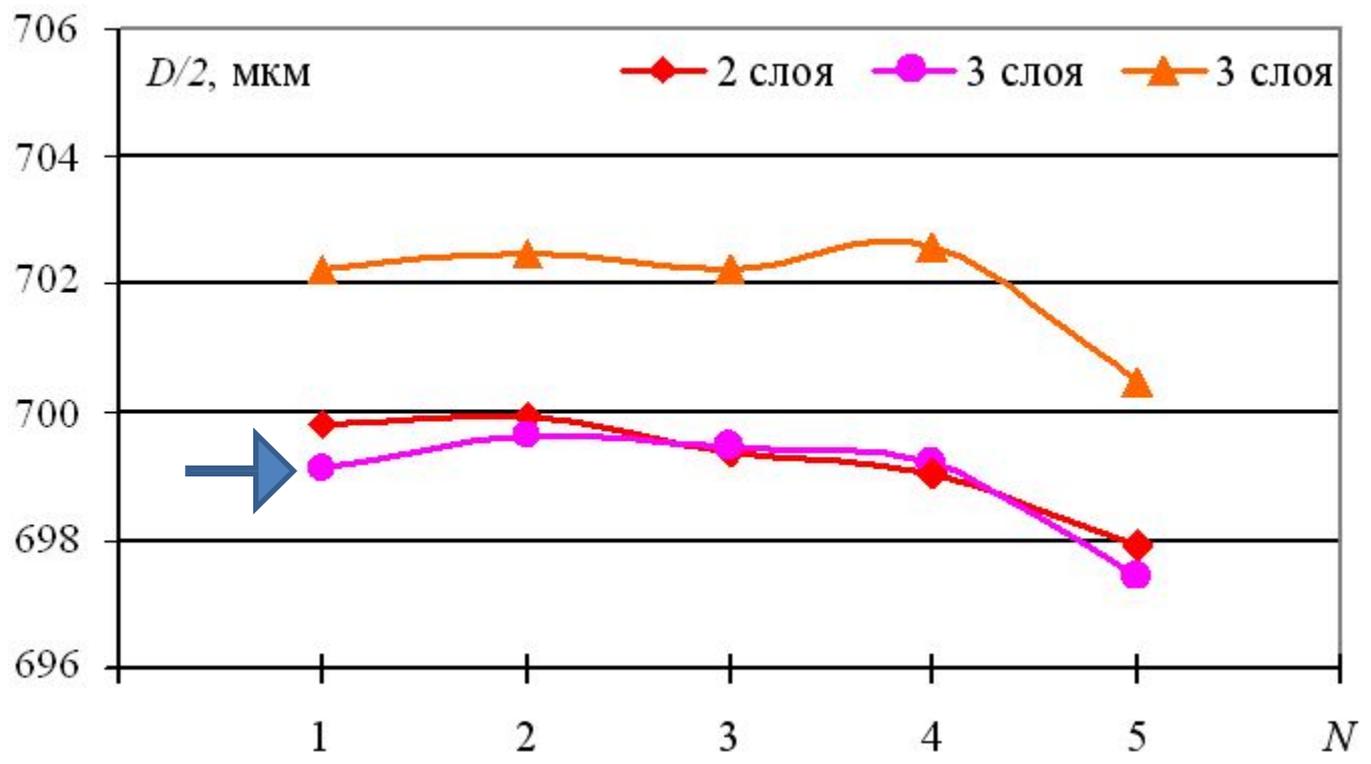
# Результаты калибровки системы технического зрения по методу соприкасающихся объектов



$N$  – порядковый номер объекта измерения



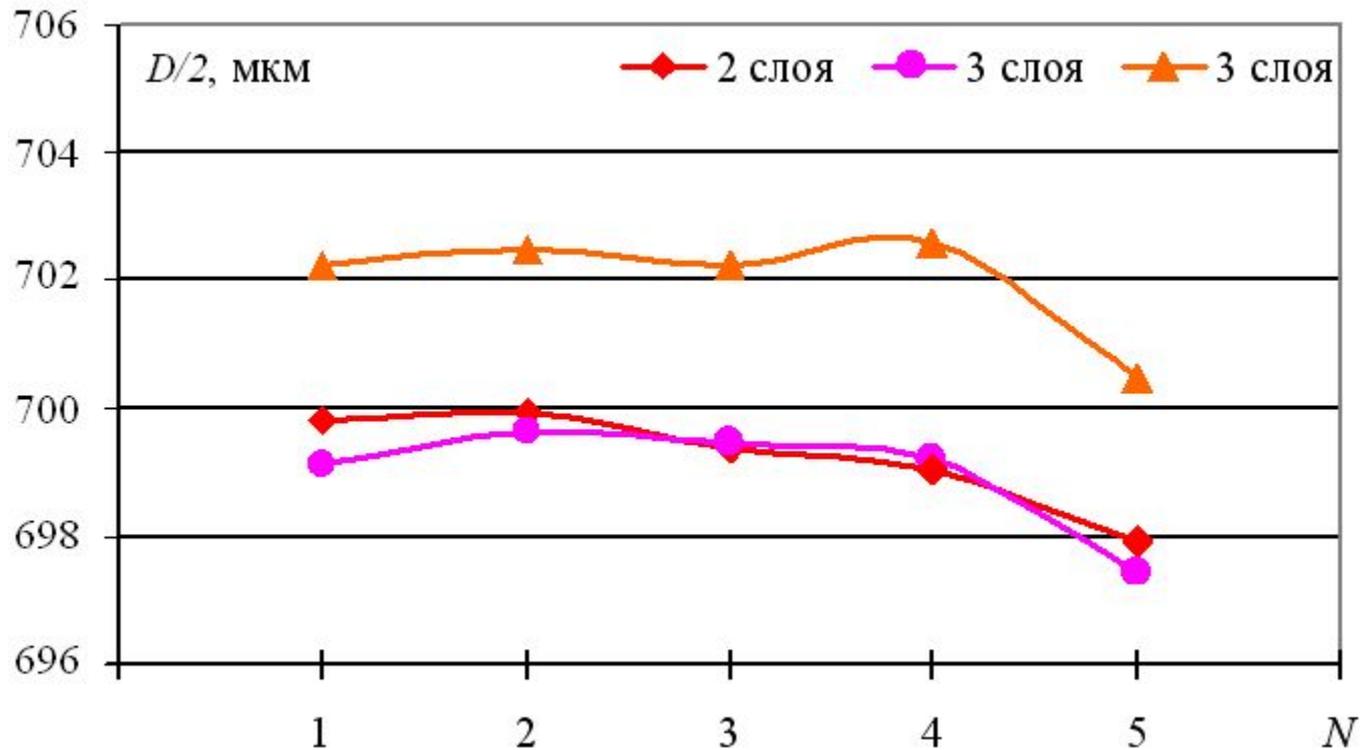
# Результаты калибровки системы технического зрения по методу соприкасающихся объектов



$N$  – порядковый номер объекта измерения



# Результаты калибровки системы технического зрения по методу соприкасающихся объектов



$N$  – порядковый номер объекта измерения

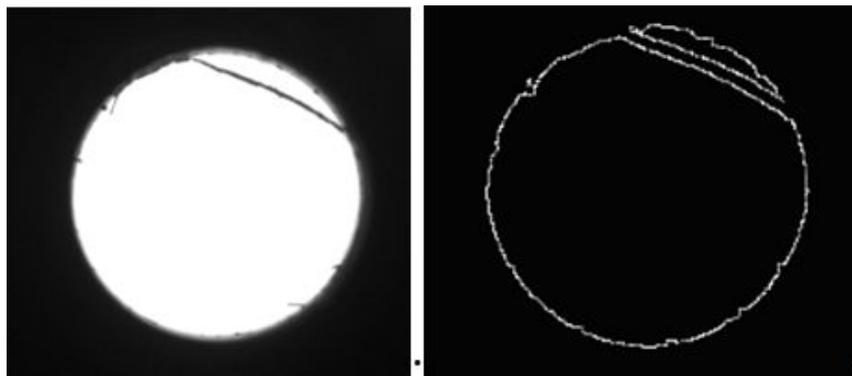
Верхний график соответствует изображению, по яркости незначительно (на 4%) отличающемуся от условий метода МСО



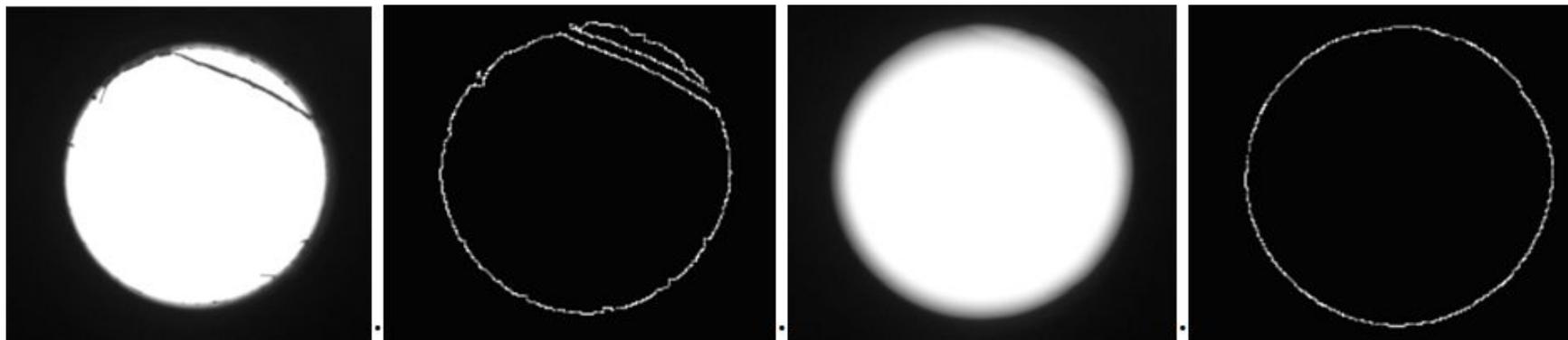
Удаление загрязнений фильтром «геометрических шумов»  
расфокусировкой изображения (фильтр ФР)



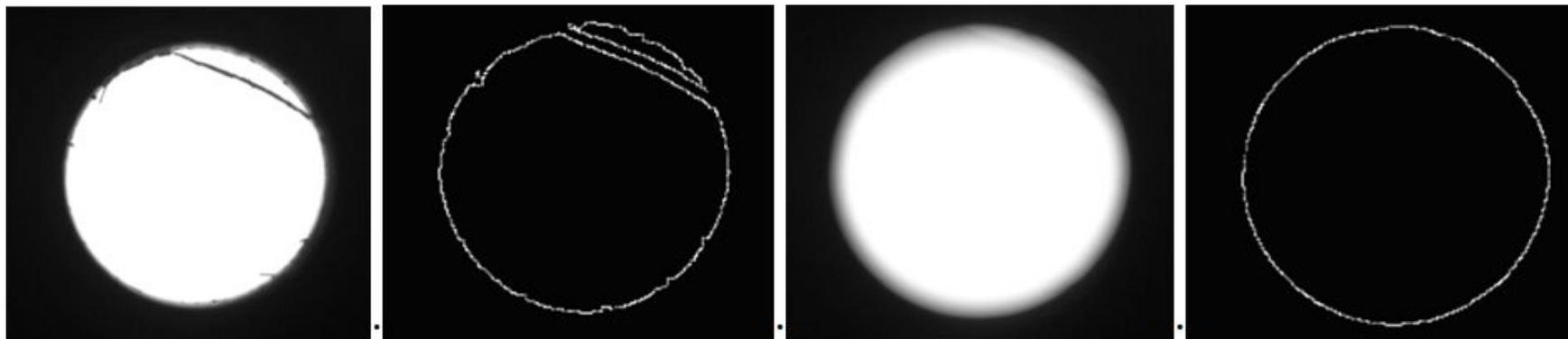
# Удаление загрязнений фильтром «геометрических шумов» расфокусировкой изображения (фильтр ФР)



# Удаление загрязнений фильтром «геометрических шумов» расфокусировкой изображения (фильтр ФР)



## Удаление загрязнений фильтром «геометрических шумов» расфокусировкой изображения (фильтр ФР)



Первая пара рисунков содержит изображение на входе и выходе СТЗ без применения фильтра ФР, вторая пара – с ФР. При определении координат центра окружности исключается грубая погрешность, составляющая несколько десятков микрометров



# Изображение блока мостов



# Изображение блока мостов

До фильтра ФР



# Изображение блока мостов

До фильтра ФР



После фильтра ФР



# Изображение блока мостов

До фильтра ФР



После фильтра ФР



# Передняя панель виртуального средства измерений



# Передняя панель виртуального средства измерений

Центральная измерительная лаборатория

ПАСПОРТ  
на блок мостов чн 512 с операции № \_\_\_\_\_

14.06.2006 0:13:32

Проверил: \_\_\_\_\_

Утверждаю: Н-к ЦИЛ \_\_\_\_\_

diss\_MZ\4\_Решение\_производственной\_задачи\ИТЦ\Tests\71\Секция 3\Фокус справа\Чистые\m\_0049.JPG

|     | X  | Y  |     | X   | Y   |
|-----|----|----|-----|-----|-----|
| I   | 1  | -1 | B43 | 1   | 9   |
| II  | 4  | 1  | B44 | 2   | 10  |
| III | -2 | 4  | B46 | -2  | -4  |
| IV  | -2 | 3  | B47 | 4   | -5  |
| V   | 0  | 0  | B52 | -11 | 8   |
| VII | -3 | -1 | B53 | -4  | -16 |
| Ш21 | 3  | 3  | B54 | -10 | 11  |
| Ш22 | 1  | 2  | B55 | 2   | -1  |
| Ш23 | 7  | 2  | X   | -0  | 0   |
| Ш24 | -4 | 1  | Ш33 | -2  | 1   |
| Ш25 | 4  | -3 | Ш34 | -13 | -4  |
| Ш26 | 5  | -7 | P1  | -15 | 6   |
| B41 | -4 | -3 | P2  | 11  | 13  |
| B42 | -8 | -6 | P3  | 16  | -4  |

9216x9215 1/16 8-bit image 0 (8741,6548)



# Передняя панель виртуального средства измерений

ПMP\_512\_V\_13.vi Front Panel

File Edit Operate Tools Browse Window Help

13pt Application Font

Центральная измерительная лаборатория

ПАСПОРТ  
на блок мостов чн 512 с операции № \_\_\_\_\_

14.06.2006 0:13:32

Проверил: \_\_\_\_\_

Утверждаю: Н-к ЦИЛ \_\_\_\_\_

diss\_MZ\4\_Решение\_производственной\_задачи\ИТЦ\Tests\71\Секция 3\Фокус справа\Чистые\m\_0049.JPG

|     | Y  | Y  |     | Y   | Y   |
|-----|----|----|-----|-----|-----|
| I   | 1  | -1 | B43 | 1   | 9   |
| II  | 4  | 1  | B44 | 2   | 10  |
| III | -2 | 4  | B46 | -2  | -4  |
| IV  | -2 | 3  | B47 | 4   | -5  |
| V   | 0  | 0  | B52 | -11 | 8   |
| VII | -3 | -1 | B53 | -4  | -16 |
| Ш21 | 3  | 3  | B54 | -10 | 11  |
| Ш22 | 1  | 2  | B55 | 2   | -1  |
| Ш23 | 7  | 2  | X   | -0  | 0   |
| Ш24 | -4 | 1  | Ш33 | -2  | 1   |
| Ш25 | 4  | -3 | Ш34 | -13 | -4  |
| Ш26 | 5  | -7 | P1  | -15 | 6   |
| B41 | -4 | -3 | P2  | 11  | 13  |
| B42 | -8 | -6 | P3  | 16  | -4  |

9216x9215 1/16 8-bit image 0 (8741,6548)

ПУСК

Total... Мои... Реги... LabV... PMP... PMP... EN 0:14



# Передняя панель виртуального средства измерений

ПMP\_512\_V\_13.vi Front Panel

File Edit Operate Tools Browse Window Help

13pt Application Font

Центральная измерительная лаборатория

ПАСПОРТ  
на блок мостов чн 512 с операции № \_\_\_\_\_

14.06.2006 0:13:32

Проверил: \_\_\_\_\_

Утверждаю: Н-к ЦИЛ \_\_\_\_\_

diss\_MZ\4\_Решение\_производственной\_задачи\ИТЦ\Tests\71\Секция 3\Фокус справа\Чистые\m\_0049.JPG

|     | X  | Y  |     | X   | Y   |
|-----|----|----|-----|-----|-----|
| I   | 1  | -1 | B43 | 1   | 9   |
| II  | 4  | 1  | B44 | 2   | 10  |
| III | -2 | 4  | B46 | -2  | -4  |
| IV  | -2 | 3  | B47 | 4   | -5  |
| V   | 0  | 0  | B52 | -11 | 8   |
| VII | -3 | -1 | B53 | -4  | -16 |
| Ш21 | 3  | 3  | B54 | -10 | 11  |
| Ш22 | 1  | 2  | B55 | 2   | -1  |
| Ш23 | 7  | 2  | X   | -0  | 0   |
| Ш24 | -4 | 1  | Ш33 | -2  | 1   |
| Ш25 | 4  | -3 | Ш34 | -13 | -4  |
| Ш26 | 5  | -7 | P1  | -15 | 6   |
| B41 | -4 | -3 | P2  | 11  | 13  |
| B42 | -8 | -6 | P3  | 16  | -4  |

9216x9215 1/16 8-bit image 0 (8741,6548)

ПУСК

Total... Мои... Реги... LabV... PMP... PMP... EN 0:14



# Передняя панель виртуального средства измерений

ПMP\_512\_V\_13.vi Front Panel

File Edit Operate Tools Browse Window Help

13pt Application Font

Центральная измерительная лаборатория

ПАСПОРТ  
на блок мостов чн 512 с операции № \_\_\_\_\_

14.06.2006 0:13:32

Проверил: \_\_\_\_\_

Утверждаю: Н-к ЦИЛ \_\_\_\_\_

diss\_MZ\4\_Решение\_производственной\_задачи\ИТЦ\Tests\71\Секция 3\Фокус справа\Чистые\m\_0049.JPG

|     | X  | Y  |     | X   | Y   |
|-----|----|----|-----|-----|-----|
| I   | 1  | -1 | B43 | 1   | 9   |
| II  | 4  | 1  | B44 | 2   | 10  |
| III | -2 | 4  | B46 | -2  | -4  |
| IV  | -2 | 3  | B47 | 4   | -5  |
| V   | 0  | 0  | B52 | -11 | 8   |
| VII | -3 | -1 | B53 | -4  | -16 |
| Ш21 | 3  | 3  | B54 | -10 | 11  |
| Ш22 | 1  | 2  | B55 | 2   | -1  |
| Ш23 | 7  | 2  | X   | -0  | 0   |
| Ш24 | -4 | 1  | Ш33 | -2  | 1   |
| Ш25 | 4  | -3 | Ш34 | -13 | -4  |
| Ш26 | 5  | -7 | P1  | -15 | 6   |
| B41 | -4 | -3 | P2  | 11  | 13  |
| B42 | -8 | -6 | P3  | 16  | -4  |

9216x9215 1/16 8-bit image 0 (8741,6548)

ПУСК Total... Мои... Реги... LabV... PMP... PMP... EN 0:14



# Передняя панель виртуального средства измерений

ПMP\_512\_V\_13.vi Front Panel

File Edit Operate Tools Browse Window Help

13pt Application Font

Центральная измерительная лаборатория

ПАСПОРТ  
на блок мостов чн 512 с операции № \_\_\_\_\_

14.06.2006 0:13:32

Проверил: \_\_\_\_\_

Утверждаю: Н-к ЦИЛ \_\_\_\_\_

diss\_MZ\4\_Решение\_производственной\_задачи\ИТЦ\Tests\71\Секция 3\Фокус справа\Чистые\m\_0049.JPG

|     | X  | Y  |     | X   | Y   |
|-----|----|----|-----|-----|-----|
| I   | 1  | -1 | B43 | 1   | 9   |
| II  | 4  | 1  | B44 | 2   | 10  |
| III | -2 | 4  | B46 | -2  | -4  |
| IV  | -2 | 3  | B47 | 4   | -5  |
| V   | 0  | 0  | B52 | -11 | 8   |
| VII | -3 | -1 | B53 | -4  | -16 |
| Ш21 | 3  | 3  | B54 | -10 | 11  |
| Ш22 | 1  | 2  | B55 | 2   | -1  |
| Ш23 | 7  | 2  | X   | -0  | 0   |
| Ш24 | -4 | 1  | Ш33 | -2  | 1   |
| Ш25 | 4  | -3 | Ш34 | -13 | -4  |
| Ш26 | 5  | -7 | P1  | -15 | 6   |
| B41 | -4 | -3 | P2  | 11  | 13  |
| B42 | -8 | -6 | P3  | 16  | -4  |

9216x9215 1/16 8-bit image 0 (8741,6548)

ПУСК Total... Мои... Реги... LabV... PMP... PMP... EN 0:14



# Передняя панель виртуального средства измерений

ПMP\_512\_V\_13.vi Front Panel

File Edit Operate Tools Browse Window Help

13pt Application Font

Центральная измерительная лаборатория

ПАСПОРТ  
на блок мостов чн 512 с операции № \_\_\_\_\_

14.06.2006 0:13:32

Проверил: \_\_\_\_\_

Утверждаю: Н-к ЦИЛ \_\_\_\_\_

diss\_MZ\4\_Решение\_производственной\_задачи\ИТЦ\Tests\71\Секция 3\Фокус справа\Чистые\m\_0049.JPG

|     | X  | Y  |     | X   | Y   |
|-----|----|----|-----|-----|-----|
| I   | 1  | -1 | B43 | 1   | 9   |
| II  | 4  | 1  | B44 | 2   | 10  |
| III | -2 | 4  | B46 | -2  | -4  |
| IV  | -2 | 3  | B47 | 4   | -5  |
| V   | 0  | 0  | B52 | -11 | 8   |
| VII | -3 | -1 | B53 | -4  | -16 |
| Ш21 | 3  | 3  | B54 | -10 | 11  |
| Ш22 | 1  | 2  | B55 | 2   | -1  |
| Ш23 | 7  | 2  | X   | -0  | 0   |
| Ш24 | -4 | 1  | Ш33 | -2  | 1   |
| Ш25 | 4  | -3 | Ш34 | -13 | -4  |
| Ш26 | 5  | -7 | P1  | -15 | 6   |
| B41 | -4 | -3 | P2  | 11  | 13  |
| B42 | -8 | -6 | P3  | 16  | -4  |

# Передняя панель виртуального средства измерений

ПMP\_512\_V\_13.vi Front Panel

File Edit Operate Tools Browse Window Help

13pt Application Font

Центральная измерительная лаборатория

ПАСПОРТ  
на блок мостов чн 512 с операции № \_\_\_\_\_

14.06.2006 0:13:32

Проверил: \_\_\_\_\_

Утверждаю: Н-к ЦИЛ \_\_\_\_\_

diss\_MZ\4\_Решение\_производственной\_задачи\ИТЦ\Tests\71\Секция 3\Фокус справа\Чистые\m\_0049.JPG

|     | X  | Y  |     | X   | Y   |
|-----|----|----|-----|-----|-----|
| I   | 1  | -1 | B43 | 1   | 9   |
| II  | 4  | 1  | B44 | 2   | 10  |
| III | -2 | 4  | B46 | -2  | -4  |
| IV  | -2 | 3  | B47 | 4   | -5  |
| V   | 0  | 0  | B52 | -11 | 8   |
| VII | -3 | -1 | B53 | -4  | -16 |
| Ш21 | 3  | 3  | B54 | -10 | 11  |
| Ш22 | 1  | 2  | B55 | 2   | -1  |
| Ш23 | 7  | 2  | X   | -0  | 0   |
| Ш24 | -4 | 1  | Ш33 | -2  | 1   |
| Ш25 | 4  | -3 | Ш34 | -13 | -4  |
| Ш26 | 5  | -7 | P1  | -15 | 6   |
| B41 | -4 | -3 | P2  | 11  | 13  |
| B42 | -8 | -6 | P3  | 16  | -4  |

9216x9215 1/16 8-bit image 0 (8741,6548)

ПУСК Total... Мои... Реги... LabV... PMP... PMP... EN 0:14



# Передняя панель виртуального средства измерений

ПMP\_512\_V\_13.vi Front Panel

File Edit Operate Tools Browse Window Help

13pt Application Font

Центральная измерительная лаборатория

ПАСПОРТ  
на блок мостов чн 512 с операции № \_\_\_\_\_

14.06.2006 0:13:32

Проверил: \_\_\_\_\_

Утверждаю: Н-к ЦИЛ \_\_\_\_\_

diss\_MZ\4\_Решение\_производственной\_задачи\ИТЦ\Tests\71\Секция 3\Фокус справа\Чистые\m\_0049.JPG

|     | X  | Y  |     | X   | Y   |
|-----|----|----|-----|-----|-----|
| I   | 1  | -1 | B43 | 1   | 9   |
| II  | 4  | 1  | B44 | 2   | 10  |
| III | -2 | 4  | B46 | -2  | -4  |
| IV  | -2 | 3  | B47 | 4   | -5  |
| V   | 0  | 0  | B52 | -11 | 8   |
| VII | -3 | -1 | B53 | -4  | -16 |
| Ш21 | 3  | 3  | B54 | -10 | 11  |
| Ш22 | 1  | 2  | B55 | 2   | -1  |
| Ш23 | 7  | 2  | X   | -0  | 0   |
| Ш24 | -4 | 1  | Ш33 | -2  | 1   |
| Ш25 | 4  | -3 | Ш34 | -13 | -4  |
| Ш26 | 5  | -7 | P1  | -15 | 6   |
| B41 | -4 | -3 | P2  | 11  | 13  |
| B42 | -8 | -6 | P3  | 16  | -4  |

9216x9215 1/16 8-bit image 0 (8741,6548)

ПУСК Total... Мои... Реги... LabV... PMP... PMP... EN 0:14



Серийно выпускаемые оптические средства измерений  
Система визуальных измерений с ЧПУ *QUICK VISION-ELF*, Япония



Измерительный профильный проектор *PV-5010*, Германия



# Серийно выпускаемые оптические средства измерений

Система визуальных измерений с ЧПУ *QUICK VISION-ELF*, Япония

Измерительный профильный проектор *PV-5010*, Германия

| модель            | диапазон измерений X:Y:Z | точность              |
|-------------------|--------------------------|-----------------------|
| <b>QV 202 PT</b>  | 200:200:200              | (2,2 + 0,3L/100) мкм  |
| <b>QV 302 PT</b>  | 300:200:200              | (2,2 + 0,3 L/100) мкм |
| <b>QV 404 PT</b>  | 400:400:250              | (2,2 + 0,3 L/100) мкм |
| <b>QV606PT</b>    | 600:650:250              | (2,2 + 0,317100) мкм  |
| <b>SUPER</b>      |                          |                       |
| <b>SQV 202 PT</b> | 200:200:200              | (1,5+0,3 L/100) мкм   |
| <b>SQV 302 PT</b> | 300:200:200              | (1,5+0,317100) мкм    |
| <b>SQV 404 PT</b> | 400:400:250              | (1,5+0,3 L/100) мкм   |
| <b>SQV 606 PT</b> | 600:650:250              | (1,5+0,317100) мкм    |
| <b>HYPER</b>      |                          |                       |
| <b>HQV 202 PT</b> | 200:200:200              | (0,8 + 0,2 L/100) мкм |
| <b>HQV 302 PT</b> | 300:200:200              | (0,8 + 0,2 L/100) мкм |
| <b>HQV 404 PT</b> | 400:400:250              | (0,8 + 0,2 L/100) мкм |
| <b>HQV 606 PT</b> | 600:650:250              | (0,8 + 0,2 L/100) мкм |

|                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| Диапазон измерений XY     | X 200 мм, Y 100 мм |
| Измерительная система     | "линейная шкала"   |
| Разрешение                | 1 мкм              |
| Шаг по углу               | 0,01° или 1'       |
| Диаметр экрана            | 508 мм             |
| Макс. Вес детали          | 5 кг               |
| Диапазон измерений        | 200x100 мм         |
| Размеры стеклянного стола | 280x180 мм         |
| Объектив                  | 10x                |
| Освещение                 | 24 В 150 Вт        |
| Подсветка образца         | 24 В 150 Вт        |
| Размеры                   | 738x1021x1520 мм   |
| Масса                     | 180 кг             |
| Изображение               | перевернутое       |
| Регулировка высоты        | 160 мм             |

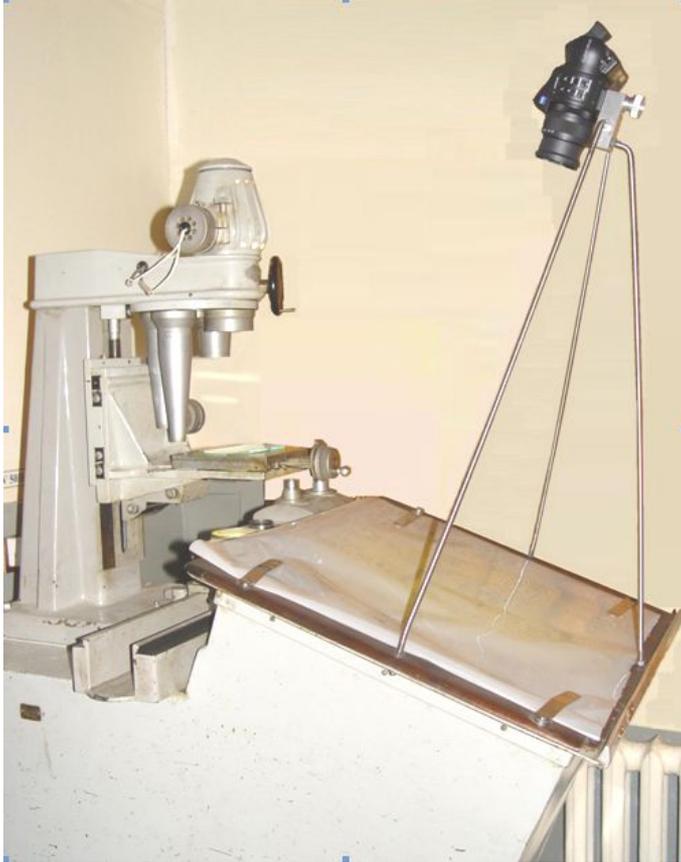


# Практическая реализация



# Практическая реализация

## Измерение часовых камней



# Практическая реализация

Измерение часовых камней

Измерение блока мостов



- Методика и программа испытаний системы технического зрения «ПМП-01»
- Руководство по эксплуатации СТЗ «ПМП-01»
- Протокол испытаний СТЗ «ПМП-01»



# Основные и дополнительные результаты



# Основные и дополнительные результаты

Требовалось

Получено



## Основные и дополнительные результаты

| Требовалось             | Получено                |
|-------------------------|-------------------------|
| Погрешность $\pm 2$ мкм | Погрешность $\pm 2$ мкм |



## Основные и дополнительные результаты

| Требовалось                                     | Получено  |
|---|---|
| Погрешность $\pm 2$ мкм                         | Погрешность $\pm 2$ мкм                         |
| Цикл измерения одной детали<br>– не более 3 мин | Цикл измерения одной детали<br>– не более 3 мин |



## Основные и дополнительные результаты

| Требовалось  | Получено   |
|--|--|
| Погрешность $\pm 2$ мкм  | Погрешность $\pm 2$ мкм  |
| Цикл измерения одной детали – не более 3 мин                                     | Цикл измерения одной детали – не более 3 мин                                     |
| Количество геометрических элементов для замера на одной детали – до 30 элементов | Количество геометрических элементов для замера на одной детали – до 30 элементов |



## Основные и дополнительные результаты

| Требовалось  | Получено   |
|--|--|
| Погрешность $\pm 2$ мкм  | Погрешность $\pm 2$ мкм  |
| Цикл измерения одной детали – не более 3 мин                                     | Цикл измерения одной детали – не более 3 мин                                     |
| Количество геометрических элементов для замера на одной детали – до 30 элементов | Количество геометрических элементов для замера на одной детали – до 30 элементов |
| Дополнительно:   |  |



## Основные и дополнительные результаты

| Требовалось   | Получено  |
|---|---|
| Погрешность $\pm 2$ мкм   | Погрешность $\pm 2$ мкм   |
| Цикл измерения одной детали – не более 3 мин  | Цикл измерения одной детали – не более 3 мин  |
| Количество геометрических элементов для замера на одной детали – до 30 элементов                                    | Количество геометрических элементов для замера на одной детали – до 30 элементов          |
| Дополнительно:  |   |
| Нестабильность питающего напряжения при контроле на часовом проекторе – погрешность достигает несколько микрометров | При контроле часовых камней на часовом проекторе начали применять стабилизатор напряжения |



## Основные и дополнительные результаты

| Требовалось   | Получено  |
|---|---|
| Погрешность $\pm 2$ мкм   | Погрешность $\pm 2$ мкм   |
| Цикл измерения одной детали – не более 3 мин  | Цикл измерения одной детали – не более 3 мин  |
| Количество геометрических элементов для замера на одной детали – до 30 элементов                                    | Количество геометрических элементов для замера на одной детали – до 30 элементов          |
| Дополнительно:  |   |
| Нестабильность питающего напряжения при контроле на часовом проекторе – погрешность достигает несколько микрометров | При контроле часовых камней на часовом проекторе начали применять стабилизатор напряжения |
| Требуется контроль небольших партий часовых камней с погрешностью $\pm 0,5$ мкм                                     | Выполнены прецизионные измерения с погрешностью $\pm 0,5$ мкм                             |



# Дополнительные результаты



# Дополнительные результаты

Проблема

Решение



## Дополнительные результаты

| Проблема                      | Решение  |
|-------------------------------|--|
| Некруглые отверстия в платине | Необходимо выполнять измерения после запрессовки камня в платину |



## Дополнительные результаты

| Проблема                           | Решение  |
|------------------------------------|--|
| Некруглые отверстия в платине      | Необходимо выполнять измерения после запрессовки камня в платину                   |
| Невертикальные отверстия в платине | Вместо применяющегося измерения в отраженном свете, применено измерение на просвет |



## Дополнительные результаты

| Проблема                           | Решение  |
|------------------------------------|--|
| Некруглые отверстия в платине      | Необходимо выполнять измерения после запрессовки камня в платину                   |
| Невертикальные отверстия в платине | Вместо применяющегося измерения в отраженном свете, применено измерение на просвет |
| Загрязнения                        | Разработаны и применены фильтры «геометрических шумов»                             |



## Дополнительные результаты

| Проблема                           | Решение   |
|------------------------------------|---|
| Некруглые отверстия в платине      | Необходимо выполнять измерения после запрессовки камня в платину  |
| Невертикальные отверстия в платине | Вместо применяющегося измерения в отраженном свете, применено измерение на просвет  |
| Загрязнения                        | Разработаны и применены фильтры «геометрических шумов»  |
| Отсутствие эталона                 | Разработан, запатентован и применен метод калибровки геометрических параметров; разработано и патентуется устройство для формирования эталона |



## Дополнительные результаты

| Проблема   | Решение   |
|--|---|
| Некруглые отверстия в платине                        | Необходимо выполнять измерения после запрессовки камня в платину  |
| Невертикальные отверстия в платине                   | Вместо применяющегося измерения в отраженном свете, применено измерение на просвет  |
| Загрязнения  | Разработаны и применены фильтры «геометрических шумов»  |
| Отсутствие эталона                                   | Разработан, запатентован и применен метод калибровки геометрических параметров; разработано и патентуется устройство для формирования эталона |
| Дополнительные расходы на техническое перевооружение | Перспективность оптических методов:<br>2003 г. камера 8 мегапикс. 30 тыс. руб. 2008 г. камера 12 мегапикс. 6 тыс. руб.                        |



# Основные результаты и выводы

1. Выполнена классификация и проведен сравнительный анализ машинных оптических методов бесконтактного контроля и микроизмерений. Обоснован выбор методов и средств, наиболее подходящих для решения производственной задачи. Указаны основные факторы, характерные для СТЗ и ограничивающие точность производственного контроля в видимом диапазоне. Эти факторы систематизированы и представлены через погрешность масштабирования (искажение пропорций на изображениях).
2. Предложен способ компенсации погрешности масштабирования. Новизна способа подтверждена патентом на изобретение. Предложенный способ реализован в виде процедур, названных методом соприкасающихся объектов (МСО) и методом калибровки яркости (МКЯ). Показана эффективность применения способа для компенсации систематических погрешностей и калибровки системы.
3. На основе предложенного способа разработаны фильтры «геометрических шумов» для фильтрации загрязняющих объект измерения микрочастиц. Исследованы альтернативные варианты и показана эффективность предложенных фильтров в производственных условиях.



## Основные результаты и выводы

4. Разработана статистическая модель СТЗ, для которой приведена оценка погрешности в режимах контроля и измерения. Получена теоретическая оценка среднего значения погрешности  $\pm 1-2$  мкм. Показана возможность компенсации группы систематических погрешностей предложенным способом (МСО).
5. Моделированием и экспериментальными исследованиями СТЗ найдено реальное значение оценки погрешности  $\pm 1-2$  мкм. Данная точность достигнута применением разработанных методов и фильтров.
6. Разработано аппаратное и программно-алгоритмическое обеспечение СТЗ для контроля и микроизмерений в производственных условиях. Программное обеспечение зарегистрировано в отраслевом фонде алгоритмов программ.
7. Создано два действующих образца СТЗ. По результатам производственных испытаний применение СТЗ уменьшило погрешность измерений с  $\pm 3-4$  мкм до  $\pm 1-2$  мкм, повысило достоверность контроля с 70 % до 95 %. Производительность при контроле платин и мостов увеличилась в 15-20 раз. Результаты работы внедрены в часовое производство ОАО «ЧЧЗ «Восток», а также в учебный процесс КГТУ им. А. Н. Туполева.





ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КООРДИНАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ОТРАСЛЕВОЙ ФОНД АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММ

## СВИДЕТЕЛЬСТВО ОБ ОТРАСЛЕВОЙ РЕГИСТРАЦИИ РАЗРАБОТКИ

*№ 7033*

Настоящее свидетельство выдано на разработку:

**Программное средство поддержки  
Системы технического зрения**

зарегистрированную в Отраслевом фонде алгоритмов и программ.

Дата регистрации: 10 октября 2006 года

Автор: Николаев М.И.



Директор  Е.Г. Калинин

Руководитель ОФАИП  А.И. Галкина

Дата выдачи *18.10.2006*





ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КООРДИНАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ОТРАСЛЕВОЙ ФОНД АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММ

## СВИДЕТЕЛЬСТВО ОБ ОТРАСЛЕВОЙ РЕГИСТРАЦИИ РАЗРАБОТКИ

№ 7033

Настоящее свидетельство выдано на разработку:

### Программное средство поддержки Системы технического зрения

зарегистрированную в Отраслевом фонде алгоритмов и программ.

Дата регистрации: 10 октября 2006 года

Автор: Николаев М.И.



Директор  Е.Г. Калинин

Руководитель ОФАИП  А.И. Галкина

Дата выдачи 18.10.2006

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2309455

### СПОСОБ КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТИ МАСШТАБИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ МИКРОИЗМЕРЕНИЙ

Патентообладатель(ли): *Общество с ограниченной  
ответственностью "Научно-технический центр "Восток"*  
(RU)

Автор(ы): *Евдокимов Юрий Кириллович (RU), Николаев  
Михаил Иванович (RU), Доронин Андрей Николаевич (RU)*

Заявка № 2005140712

Приоритет изобретения 26 декабря 2005 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре  
изобретений Российской Федерации 27 октября 2007 г.

Срок действия патента истекает 26 декабря 2025 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной  
собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

Филиал "Восток" КГТУ им. А.Н. Туполева



Филиал "Восток" КГТУ им. А.Н. Туполева  
Научно-исследовательские работы.  
Стенд для прецизионных



Филиал "Восток" КГТУ им. А.Н. Туполева  
Научно-исследовательские работы.

Стенд для прецизионных  
измерений:

- прецизионный координатный стол  
на цифровых модулях перемещения
- цифровая фотокамера
- персональный компьютер
- программное обеспечение



Филиал "Восток" КГТУ им. А.Н. Туполева  
Научно-исследовательские работы.      Учебная деятельность.  
Стенд для прецизионных      Оптические методы  
измерений:      измерений.

- прецизионный координатный стол на цифровых модулях перемещения
- цифровая фотокамера
- персональный компьютер
- программное обеспечение

Теоретический курс и лабораторный комплекс:

- объекты измерений
- веб-камера
- персональный компьютер
- программное обеспечение



Филиал "Восток" КГТУ им. А.Н. Туполева  
Научно-исследовательские  
работы. Стенд для прецизионных  
измерений

- Измерение
- Моделирование
- Анализ результатов
- Регистрация алгоритмов программ
- Патентование устройств и способов измерений
- Публикации



# Филиал "Восток" КГТУ им. А.Н. Туполева

Научно-исследовательские  
работы. Стенд для прецизионных  
измерений

Учебная деятельность.  
Оптические методы измерений

- Измерение
- Моделирование
- Анализ результатов
- Регистрация алгоритмов программ
- Патентование устройств и способов измерений
- Публикации



## Филиал "Восток" КГТУ им. А.Н. Туполева

Научно-исследовательские  
работы. Стенд для прецизионных  
измерений

Учебная деятельность.  
Оптические методы измерений

- Измерение
  - Моделирование
  - Анализ результатов
  - Регистрация алгоритмов программ
  - Патентование устройств и способов измерений
  - Публикации
- Лабораторные работы и лекции в курсах дисциплин «Метрология, стандартизация и сертификация» и «Теория измерений»
  - Электронное методическое пособие по оптическим методам измерений
  - Дипломные работы



## Предполагаемые темы дипломных работ

- Метрологическая аттестация системы технического зрения, разработанной для измерения часовых камней.
- Метрологическая аттестация системы технического зрения, разработанной для измерения платин и мостов.
- Метрологическая аттестация стенда для прецизионных измерений
- Регистрация системы технического зрения в Госреестре.
- Система технического зрения для линейных и угловых измерений.
- Система технического зрения для распознавания образов.

Методические рекомендации могут быть основаны на нормативных документах Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, в т.ч. полученных в процессе взаимодействия с ТатЦСМ.

Результат работы может содержать алгоритм действий, включающий сроки и финансовые затраты (экономический раздел), реквизиты.

Возможна программная реализация предложенного алгоритма, в т. ч. в рамках системы качества (Microsoft Office Project).

Расчетная часть может быть основана на имеющихся методических указаниях по курсовому проектированию по метрологии



# **ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

*Николаев М.И. [nmi.kai@mail.ru](mailto:nmi.kai@mail.ru)  
Чистопольский филиал «Восток»  
КГТУ им. А.Н. Туполева (84342)94746*

