



Экспериментальное исследование теплофизических и газодинамических процессов

Лекция № 4

**Измерение уровня, плотности, концентрации,
дисперсности**



Средства измерения уровня

2

Для ведения технологических процессов в теплоэнергетике большое значение имеет контроль за уровнем жидкостей и твердых сыпучих материалов в производственных аппаратах. Кроме того, зная площадь любой емкости, по величине уровня можно определить количество вещества в ней.

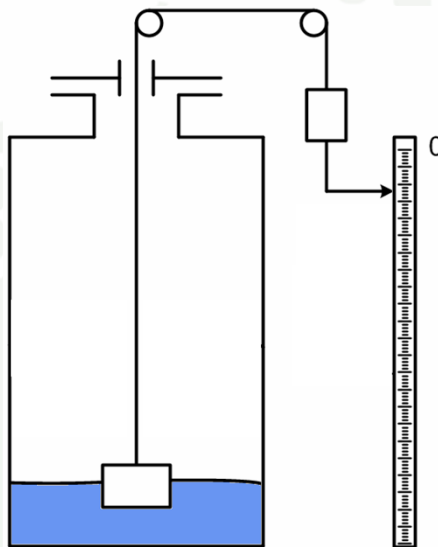
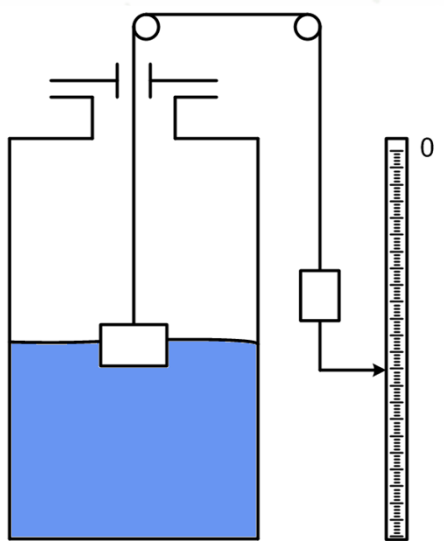
Основные средства измерения уровня:

- поплавковые уровнемеры;
- буйковые уровнемеры;
- гидростатические уровнемеры;
- емкостные уровнемеры;
- радарные уровнемеры;
- лазерные уровнемеры;
- радиоизотопные уровнемеры;
- ультразвуковые и акустические уровнемеры.



Поплавковые уровнемеры

Поплавковые уровнемеры построены **по принципу использования выталкивающей силы жидкости**. Чувствительный элемент датчика представляет собой тело произвольной формы (поплавок), плавающее на поверхности жидкости и имеющее постоянную осадку. Поплавок перемещается вертикально вместе с уровнем жидкости, и текущее значение уровня определяется фиксацией измерительной схемы положения поплавка.



Уровнемер УДУ-10
ООО «Аврора-НЕФТЬ»



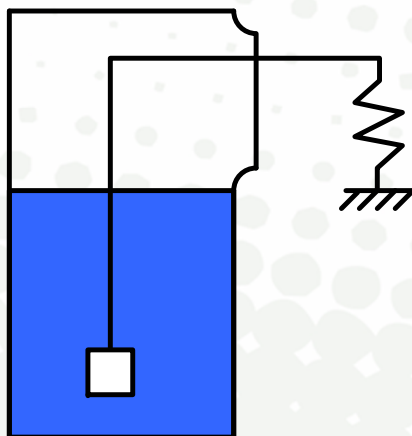
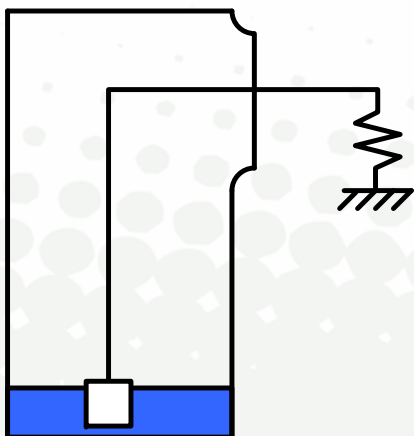
Уровнемер NM-R
«KOBOLD»





Буйковые уровнемеры

Принцип действия основан на законе Архимеда: **зависимости выталкивающей силы, действующей на буюк, от уровня жидкости.** Чувствительным элементом таких уровнемеров является массивное тело (например, цилиндр) — буюк, подвешенное вертикально внутри сосуда и частично погруженное в контролируемую жидкость



Уровнемер Masoneilan
(ДЦУ-01)
ООО «АМ КИП»



Уровнемер
Promonitor NRF560
«ENDRESS + HAUSER»

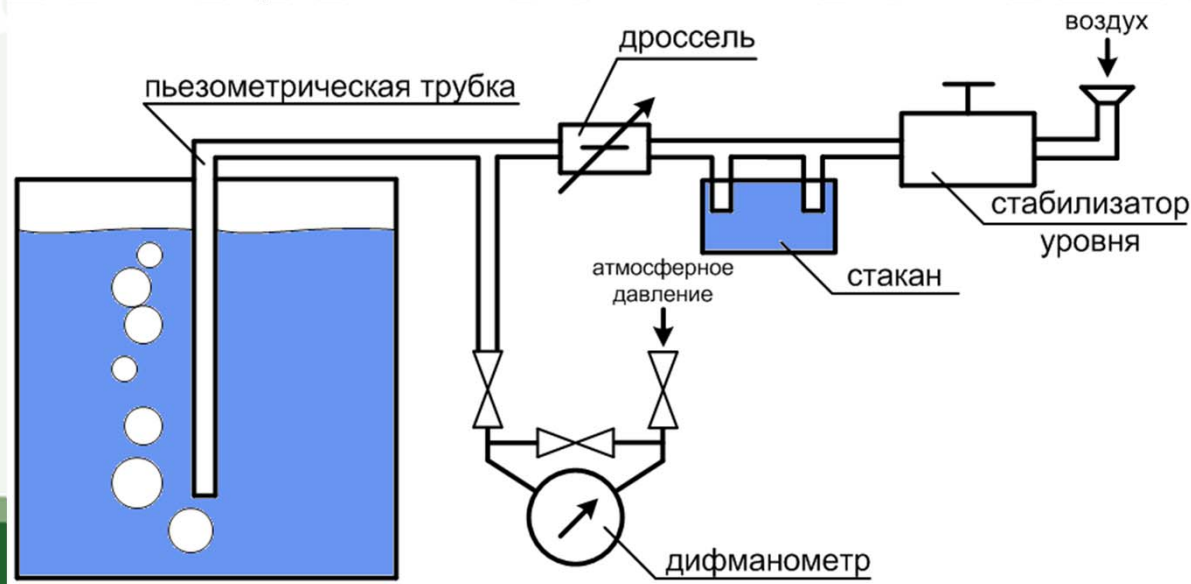




Пьезометрические уровнемеры

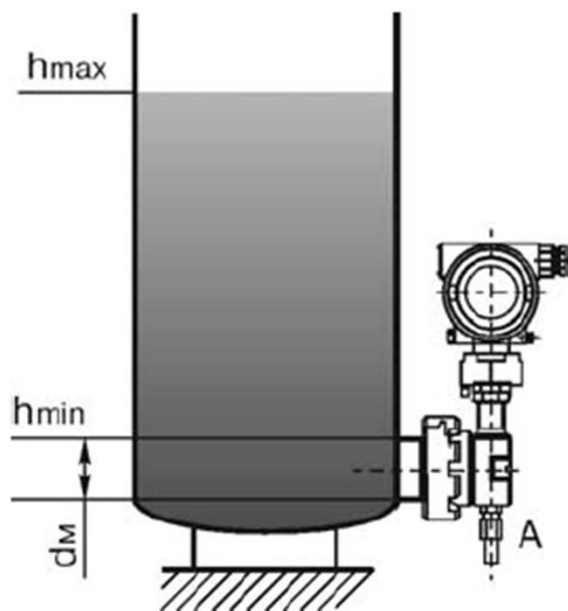
В резервуар опускают пьезометрическую трубку, через которую прокачивают воздух. Расход воздуха регулируют так, чтобы он барботировал отдельными пузырьками. Давление воздуха может быть измерено манометром или дифманометром.

При изменении уровня жидкости в объекте изменяется и высота столба жидкости в левом колене дифманометра. Правое колено дифманометра связано с уравнительным сосудом, заполненным той же жидкостью, что и объект измерения. Назначение уравнительного сосуда — обеспечивать постоянную высоту столба жидкости. Таким образом, **по перепаду давления, измеряемому дифманометром, можно судить об уровне жидкости в объекте измерения.**



Гидростатические уровнемеры

В основе принципа действия лежит измерение давления, создаваемого **гидростатическим столбом жидкости**, находящимся выше чувствительного элемента датчика, и преобразование измеренного значения в действительное значение уровня.



Уровнемер
Deltapilot S FMB70
«ENDRESS + HAUSER»



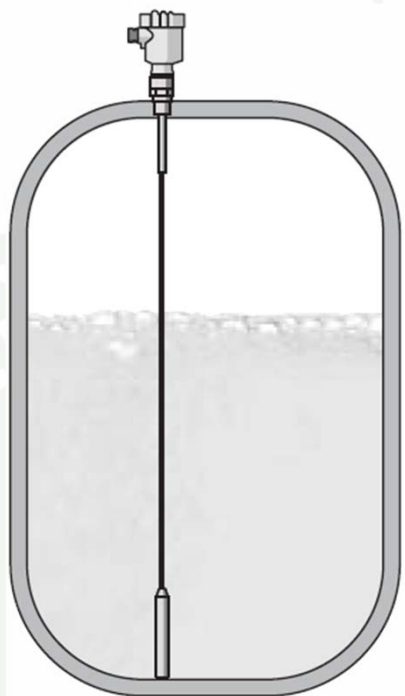
Уровнемер МПУ-01
ООО «МераПрибор»





Емкостные уровнемеры

Принцип действия емкостных уровнемеров и датчиков основан **на изменении электрической емкости чувствительного элемента** пропорционально уровню погружения в контролируемую среду. Для измерения уровня первичный преобразователь крепится в верхней части резервуара.



Уровнемер MLC430
«GHM GROUP»



Уровнемер Pointek
«SIEMENS»



VEGACAL 66
«VEGA»





Радарные уровнемеры

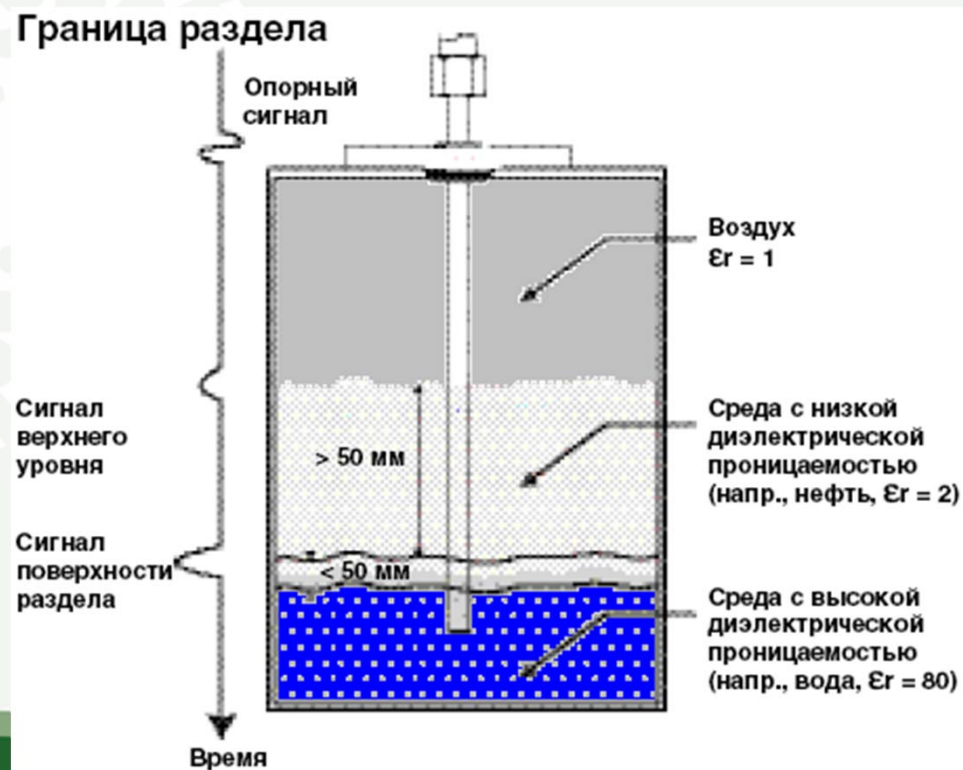
Принцип действия основывается на измерении времени распространения радиоволны от антенны прибора до поверхности материала и обратно. Радарный уровнемер излучает **постоянный непрерывный микроволновый сигнал по направлению к поверхности жидкости (или сыпучего материала)**. Отражаясь от нее, сигнал возвращается к антенне. В результате получается смешение двух сигналов: излучаемого и отраженного. Параметры смешанного сигнала анализируются с помощью специального программного обеспечения уровнемера.



SITRANS LR 460
«SIEMENS»



БАРС351И
ГК «Промприбор»





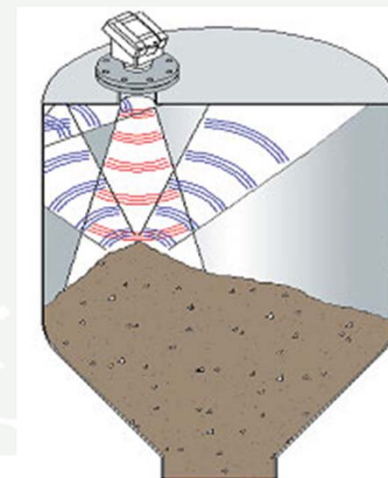
Средства измерения уровня

9

Лазерные уровнемеры

Принцип действия основан на измерении времени распространения **электромагнитной волны инфракрасного диапазона от датчика до препятствия и обратно**. Считая, что скорость света постоянна, вычисляется расстояние до препятствия.

Уникальные свойства лазера позволяют его использовать для измерения сыпучих веществ, имеющих большой угол откоса (конусность).



HUATAI Electronic Co. Ltd.



Уровнемер LM 80
«ABB Inc.»



Уровнемер O1D300
«IFM Electronic»

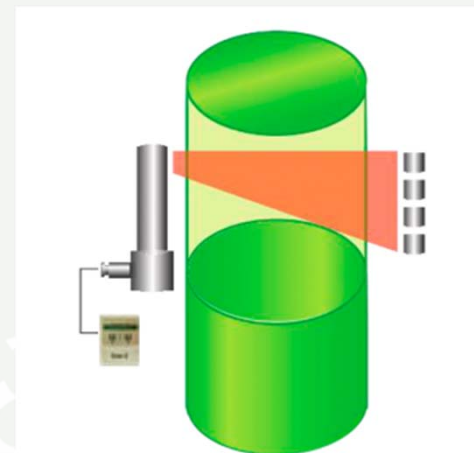




Радиоизотопные уровнемеры

Принцип действия основан на использовании зависимости интенсивности *потока радиоактивного излучения, падающего на приемник (детектор) излучения, от положения уровня измеряемой среды.*

Гамма-излучение от источника принимается счетчиком Гейгера (детектором). В зависимости от уровня материала, который поглощает излучение, изменяется частота импульсов счетчика Гейгера. Электроника отслеживает частоту, соответствующую уровню радиоизотопного излучения и выдает сигнал.



Gammapilot FMG60
«Endress + Hauser»



Уровнемер ИУБ-1К
ЗАО НТЦ «ЭкоФизПрибор»



Уровнемер LevelPRO
«Thermo MeasureTech»





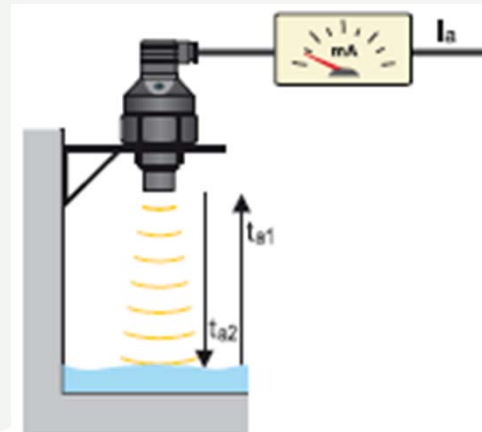
Ультразвуковые (акустические) уровнемеры

Действие уровнемеров этого типа основано на измерении времени прохождения импульса ультразвука от излучателя до поверхности жидкости и обратно. **При приеме отраженного импульса излучатель становится датчиком.**

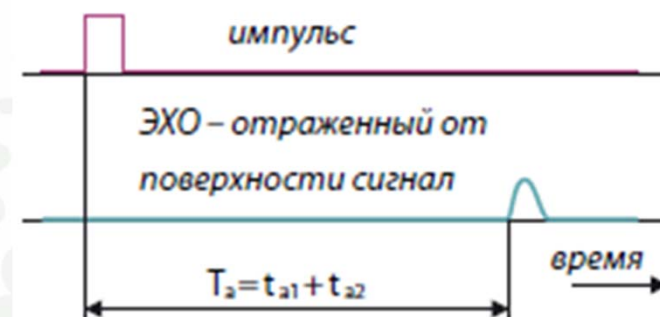
Если излучатель расположен над жидкостью, уровнемер называется **акустическим** (акустическая энергия, посланная в объект для измерения уровня, распространяется по газовой среде).

Если внутри жидкости – **ультразвуковым** уровнемером (отражение ультразвуковых колебаний от границы раздела сред происходит со стороны жидкости).

Электронный блок служит для формирования излучаемых ультразвуковых импульсов, усиления отраженных импульсов, измерения времени прохождения импульсом двойного пути (в воздухе или жидкости) и преобразования этого времени в унифицированный электрический сигнал.



высланный акустический импульс



SIEMENS SITRANS PROBE
«SIEMENS»



Уровнемер УЗУМ-2
ЗАО «СПЭК»



VEGASON 66
«VEGA»



Средства измерения плотности

12

По принципу действия различают:

- поплавковые (ареометрические) плотномеры;
- массовые плотномеры;
- гидростатические плотномеры;
- радиоизотопные плотномеры;
- вибрационные плотномеры;
- ультразвуковые плотномеры;
- лабораторные плотномеры.



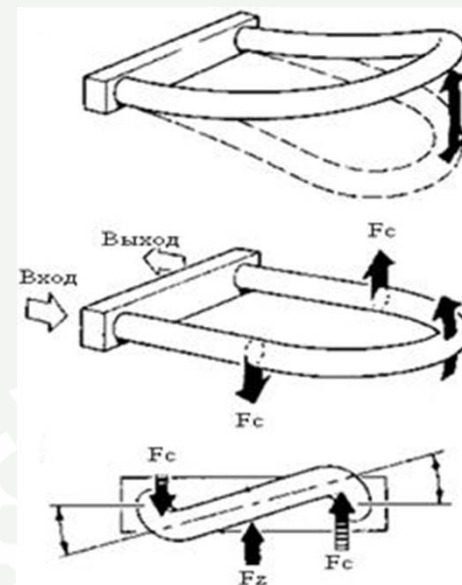
Ареометр – прибор в виде стеклянного поплавка с измерительной шкалой и грузом (внизу), предназначенный для измерения плотности жидкостей и сыпучих тел.

Принцип действия ареометра основан на законе Архимеда. В зависимости от плотности жидкости сила Архимеда будет различна, и ареометр будет погружаться в разных жидкостях на разную глубину.



Массовые плотномеры

Принцип действия основан на постоянном **взвешивании определенных объемов жидкости**. Собственная частота колебаний сенсорных трубок зависит от их геометрии, материала, конструкции и массы. Масса состоит из двух частей: массы самих трубок и массы измеряемой среды в трубках. Для конкретного типоразмера сенсора масса трубок постоянна. Поскольку **масса измеряемой среды в трубках равна произведению плотности среды и внутреннего объема**, а объем трубок является также постоянным для конкретного типоразмера, то частота колебаний трубок может быть привязана к плотности среды и определена путем измерения периода колебаний.



$$m = \rho \cdot V$$

$$m = m_{\text{труб}} + m_{\text{жид}}$$

$$m_{\text{труб}} = \text{const}; V = \text{const}$$

Расходомер-плотномер
Micro Motion
«Emerson»





Гидростатические плотномеры

Принцип действия основан на измерении **давления столба жидкости постоянной высоты:**

$$P = \rho g H,$$

где H – высота столба жидкости, м; ρ – плотность жидкости, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

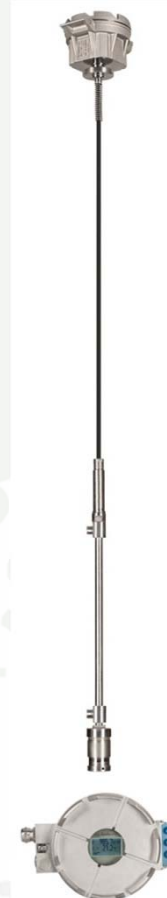
Вибрационные плотномеры

Принцип действия основан на зависимости **резонансной частоты колебаний, которые возбуждаются в жидкости, относительно ее плотности.**

Газовый плотномер
EXA GD
«Yokogawa»



Плотномер ДП1
ЗАО «Альбатрос»





Средства измерения плотности

15

Радиоизотопные плотномеры работают по принципу нахождения *ослабления пучка у-излучения, полученного при его поглощении или рассеянии слоем жидкости.*

Ультразвуковые плотномеры созданы на основе зависимости *скорости звука в среде относительно плотности среды.*

Лабораторные плотномеры используются в качестве ручного периодического измерения относительной плотности веществ, в основном это аэрометры, пикнометры и гидростатические весы.



Радиоизотопный
гамма плотномер SGDO
«Thermo Fisher Scientific»



Плотномер LiquiSonic
«SensoTech»



Пикнометр
ПАО «Стеклоприбор»



Лабораторные весы
CAS



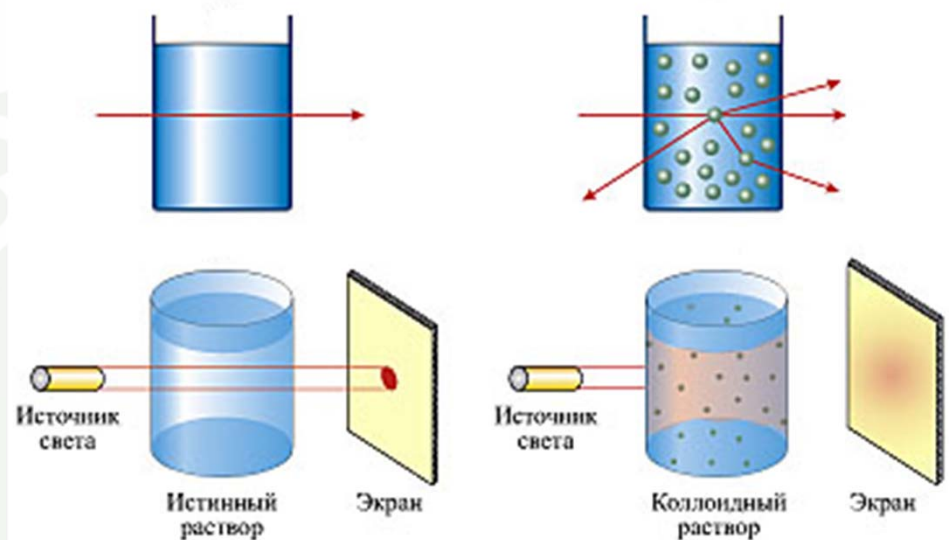


Средства измерения концентрации и дисперсности

16

Оптические методы исследования дисперсных систем

Дисперсные системы обладают фазовой и, соответственно, оптической неоднородностью. Лучи, направленные на микрогетерогенные и грубодисперсные системы, падают на поверхность частиц, отражаются и преломляются под разными углами, что обуславливает выход лучей из системы в разных направлениях. Прямому прохождению лучей через дисперсную систему препятствует также их многократные отражения и преломления при переходах от частицы к частице.



Эффект Тиндаля – рассеяние света при прохождении светового пучка через оптически неоднородную среду.

На эффекте Тиндаля основан ряд оптических методов определения размеров, формы и концентрации коллоидных частиц и макромолекул.





Средства измерения концентрации и дисперсности

17

Оптические методы исследования дисперсных систем

- Световая и электронная микроскопия;
- Ультрамикроскопия;
- Нефелометрия;
- Турбидиметрия;
- Лазерная дифракция.



Концентратометр КН-2м
ООО «СИБЭКОПРИБОР»



Портативный
мутномер
(турбидиметр)
серии 2100P
«HACH-LANGE»



Микроскоп
ULTRA 500LA
«Zenith»



Микроскоп
LabZZ M1
«Levenhuk, Inc.»

Nd:YAG лазер
EverGreen
«QUANTEL»





Средства измерения концентрации и дисперсности

18

SHADOW PHOTOGRAPHY (ТЕНЕВАЯ ФОТОГРАФИЯ ОБРАЗОВ ЧАСТИЦ) SHADOW IMAGING (SHADOWGRAPHY)

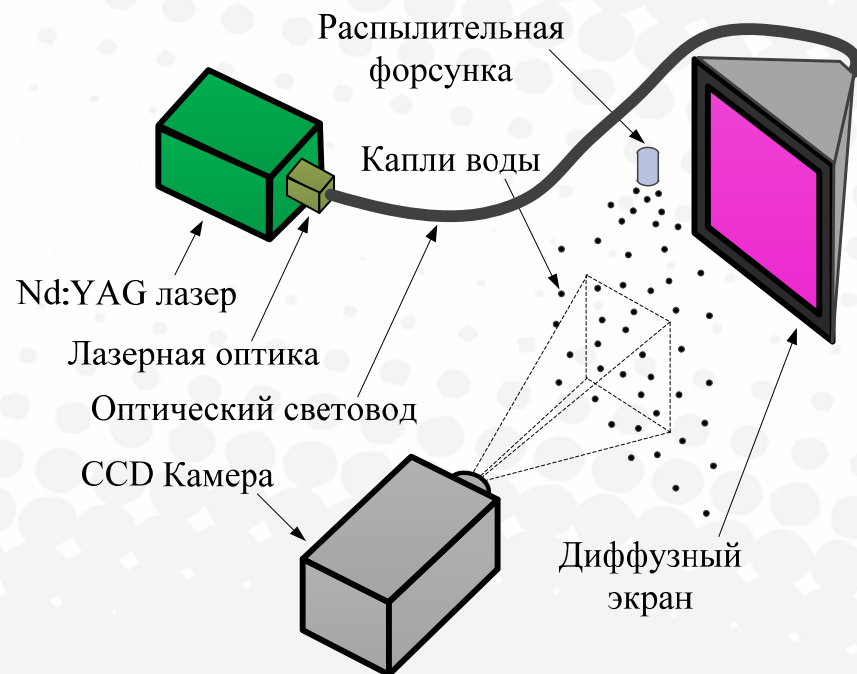
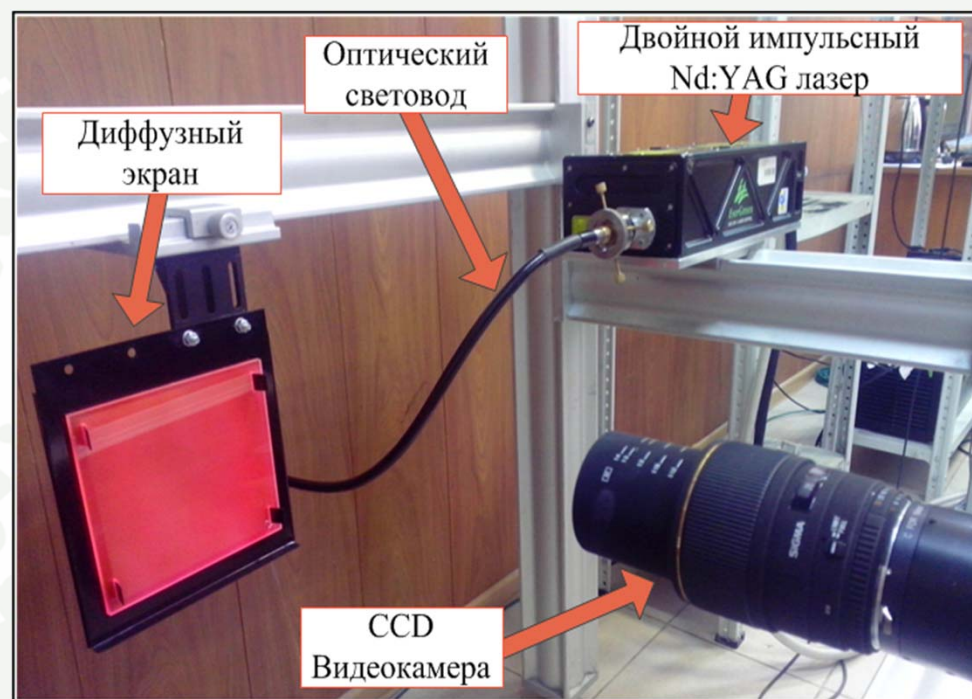


Схема метода SP



Внешний вид экспериментального стенда при измерениях тeneвым методом





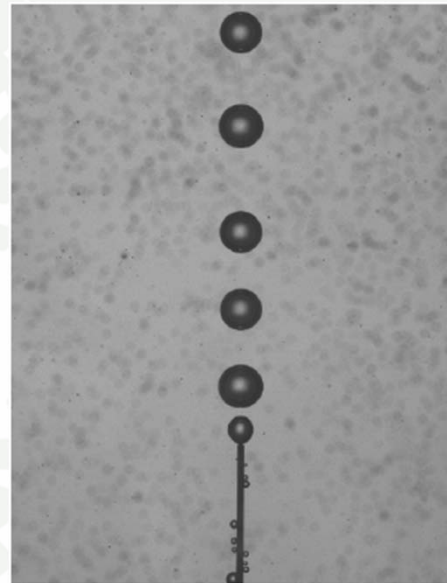
Средства измерения концентрации и дисперсности

19

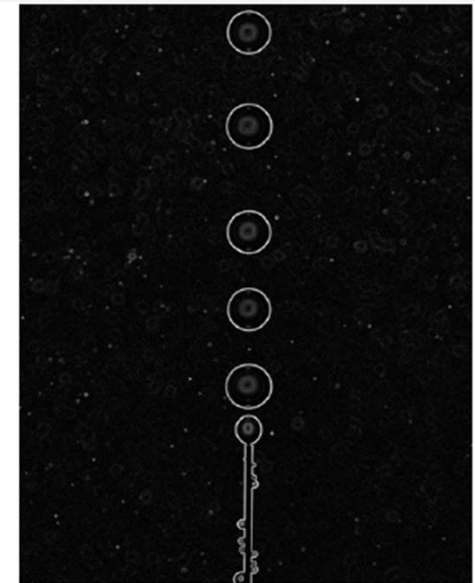
SHADOW PHOTOGRAPHY (ТЕНЕВАЯ ФОТОГРАФИЯ ОБРАЗОВ ЧАСТИЦ) SHADOW IMAGING (SHADOWGRAPHY)

Метод «Shadow Photography» (SP) позволяет определять **размеры капель (частиц дисперсной фазы в многофазных потоках) на изображениях.**

К исходному изображению применяется процедура высокочастотной (High-Pass или Laplace Edge Detection) **фильтрации с целью выделения границ зарегистрированных образов на изображении объектов.**



а



б

Результат применения высокочастотного фильтра: **а** – исходное изображение; **б** – изображение с выделенными границами объекта после процедуры фильтрации

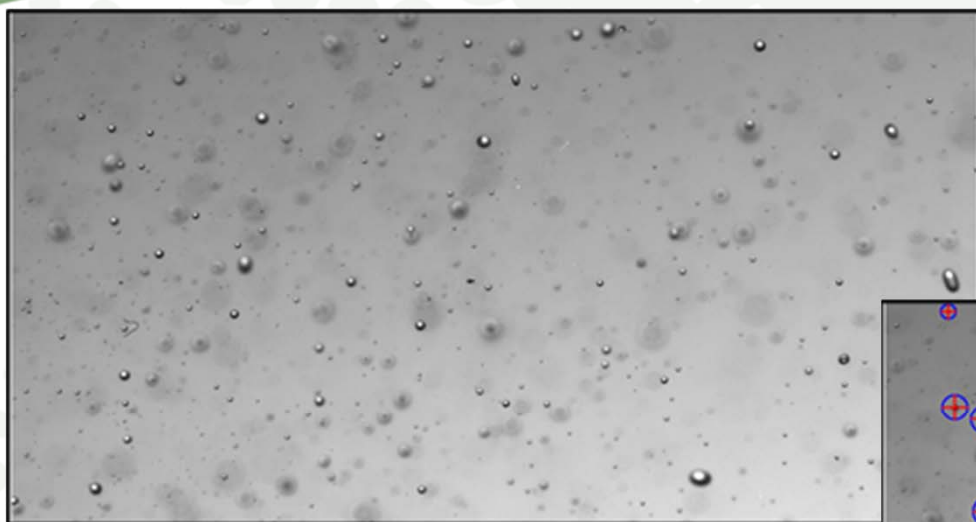




Средства измерения концентрации и дисперсности

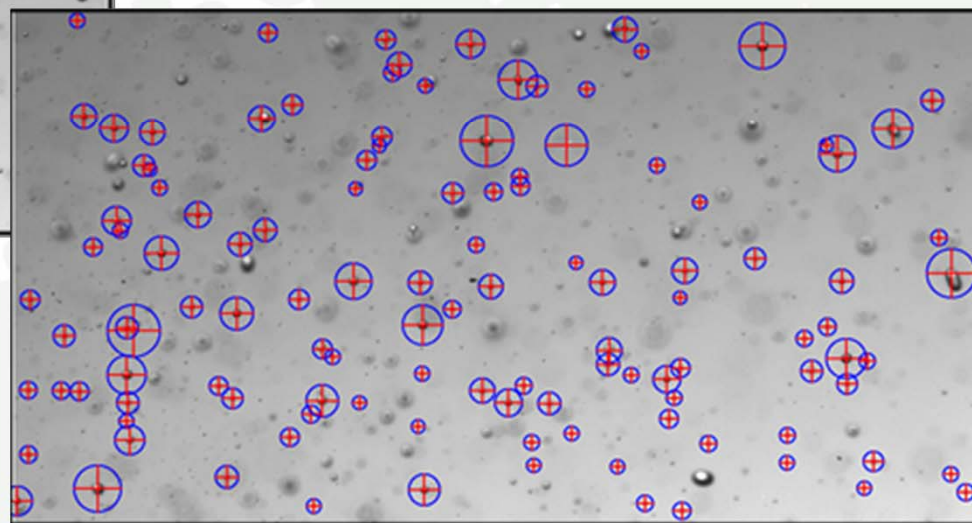
20

**SHADOW PHOTOGRAPHY (ТЕНЕВАЯ ФОТОГРАФИЯ ОБРАЗОВ ЧАСТИЦ)
SHADOW IMAGING (SHADOWGRAPHY)**



a

б



Видеограмма капельного потока (а) и результат ее обработки (б), полученный с применением SP метода

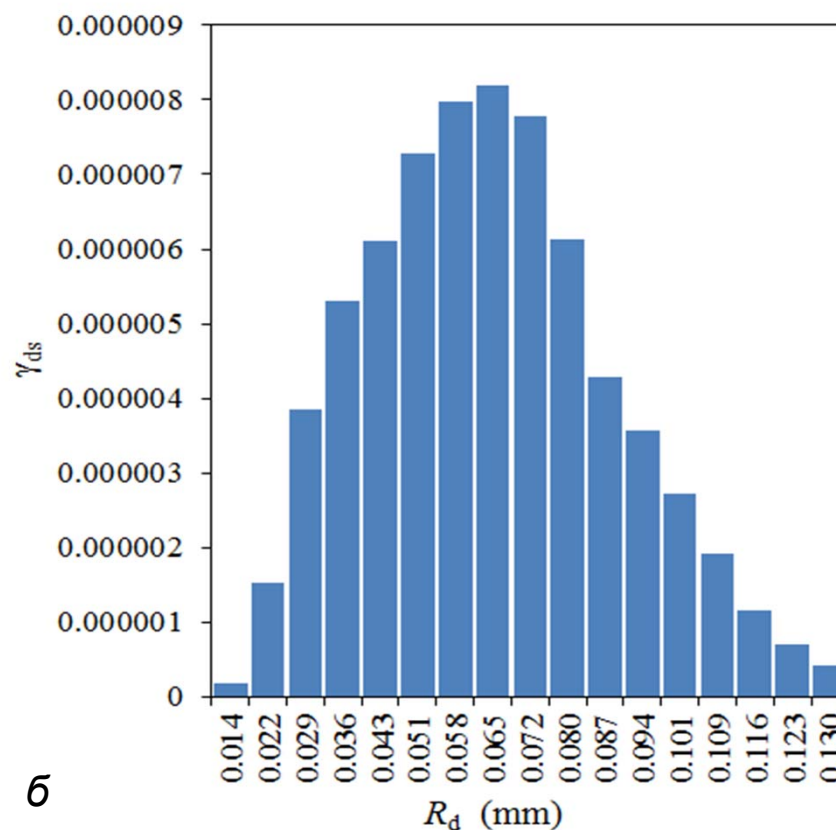
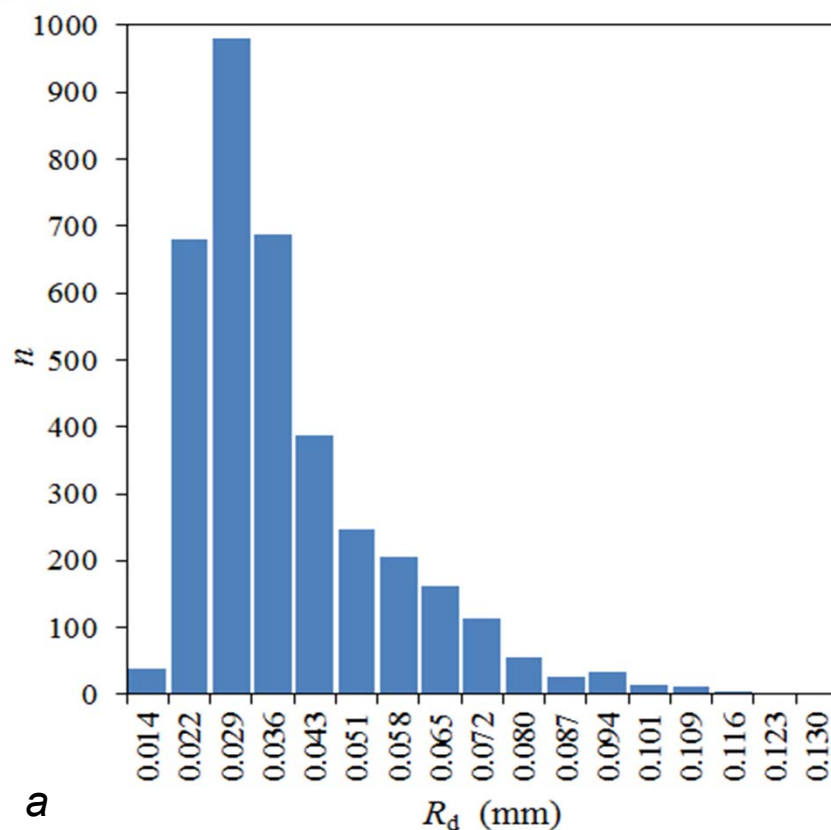




Средства измерения концентрации и дисперсности

21

SHADOW PHOTOGRAPHY (ТЕНЕВАЯ ФОТОГРАФИЯ ОБРАЗОВ ЧАСТИЦ) SHADOW IMAGING (SHADOWGRAPHY)



Распределение размеров капель (а), а также объемная концентрация капель (б) в аэрозольном потоке, полученные с применением SP метода





Средства измерения концентрации и дисперсности

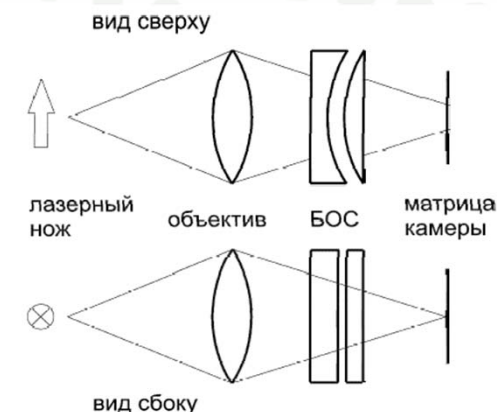
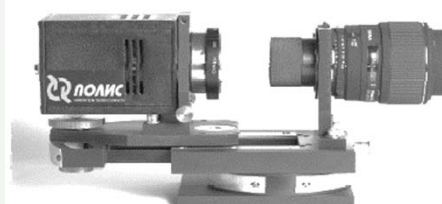
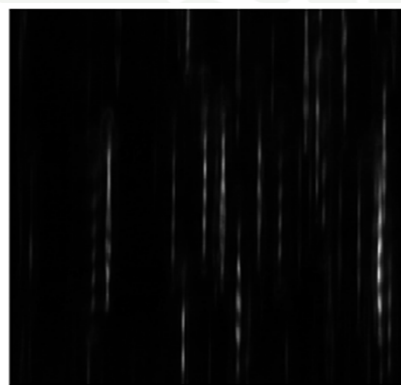
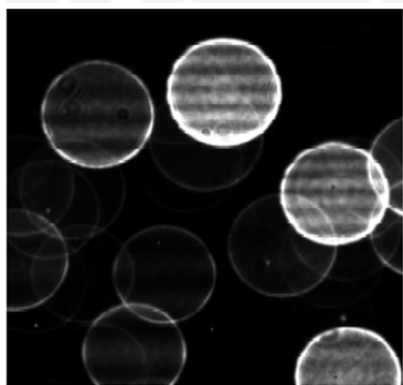
22

INTERFEROMETRIC PARTICLE IMAGING (ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОБРАЗОВ ЧАСТИЦ) INTERFEROMETRIC MIE IMAGING (IMI)

Метод IPI предназначен для регистрации мгновенных распределений диаметров капель или пузырьков в плоском сечении потока. Размер сферической частицы (капли или пузыря) вычисляется **по интерференционной картине, наблюдаемой на расфокусированном изображении частицы, освещенной лазерным ножом.**

Измеряются: размер, положение, скорость.

Рассчитываются: статистические характеристики, гистограммы, корреляции размера и скорости, другие производные величины.



<http://www.polis-instruments.ru/measured-quantity/dispersity/ipi>

<http://www.lavision.de/en/products/particlemaster/interferimetric-imaging/index.php>

INTERFEROMETRIC PARTICLE IMAGING (IPI) INTERFEROMETRIC MIE IMAGING (IMI)



Пример экспериментального стенда для реализации IPI измерений:

- 1 – тепловые вентиляторы;
- 2 – CCD камера;
- 3 – Nd:YAG лазер;
- 4 – синхронизатор ПК, кросскорреляционной камеры и лазера;
- 5 – световой «нож»;
- 6 – генератор лазерного излучения;
- 7 – ПК;
- 8 – штатив;
- 9 – ёмкость с водой;
- 10 – канал подачи воды;
- 11 – форсунка;
- 12 – капли воды;
- 13 – канал с горячим воздухом;
- 14 – полые цилиндрические каналы;
- 15 – соединительный фланец;
- 16 – термопары;
- 17 – канал, по которому движется охлаждающая жидкость лазера;
- 18 – аналитические весы

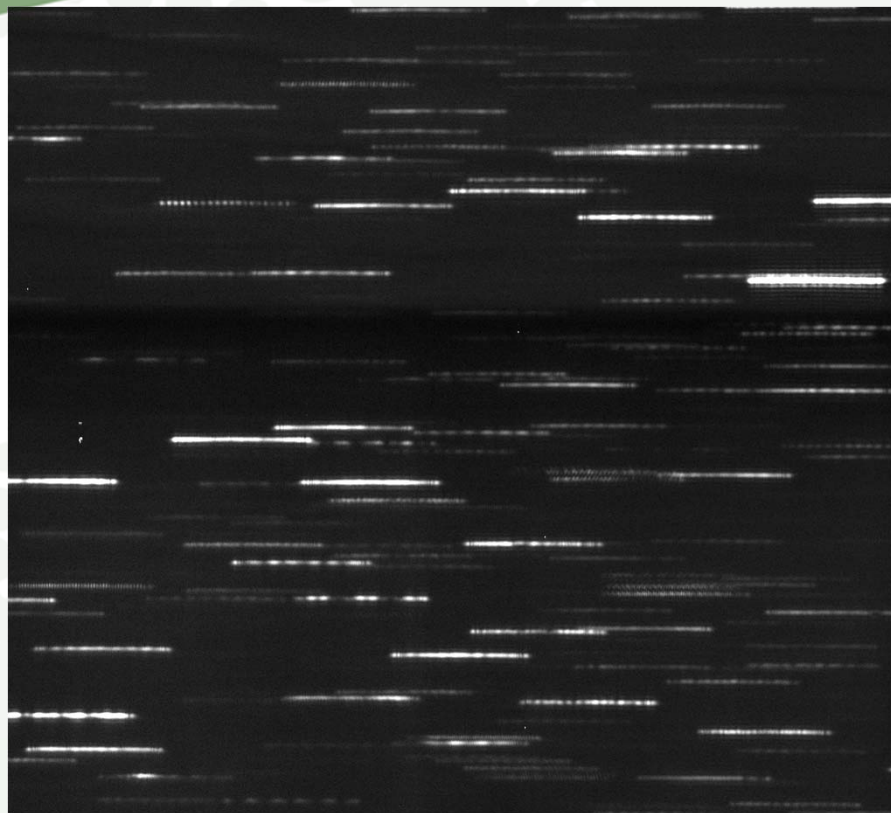




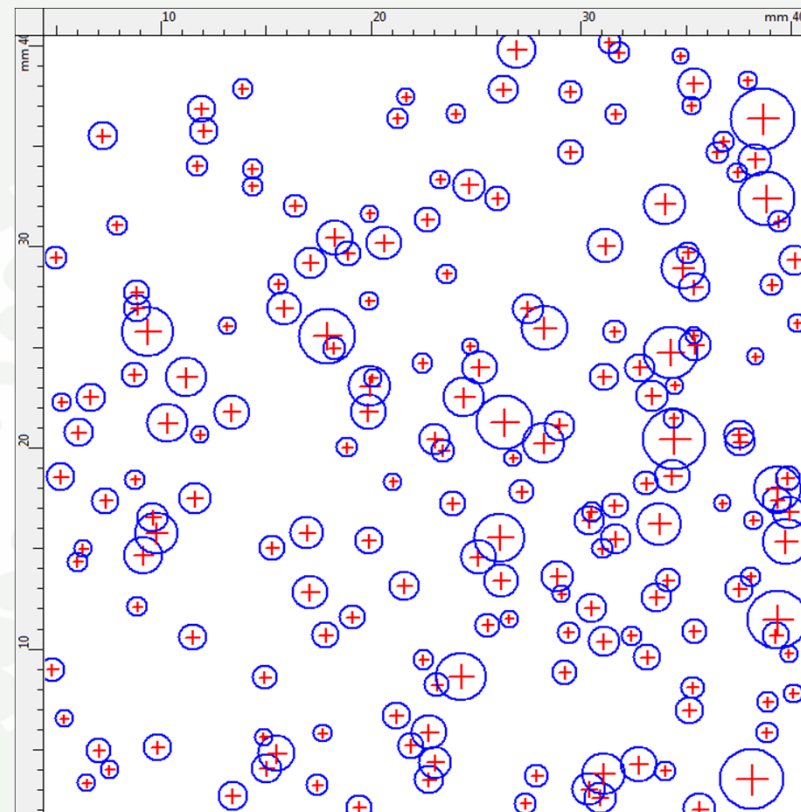
Средства измерения концентрации и дисперсности

24

INTERFEROMETRIC PARTICLE IMAGING (IPI)
INTERFEROMETRIC MIE IMAGING (IMI)



а



б

Видеограмма капельного потока (а) и результат ее обработки (б), полученные с применением IPI метода

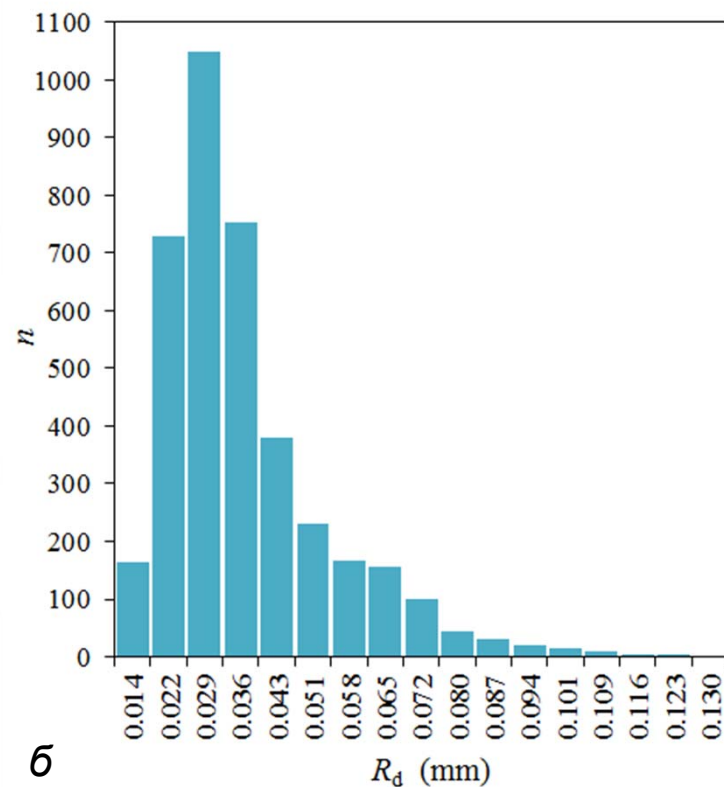
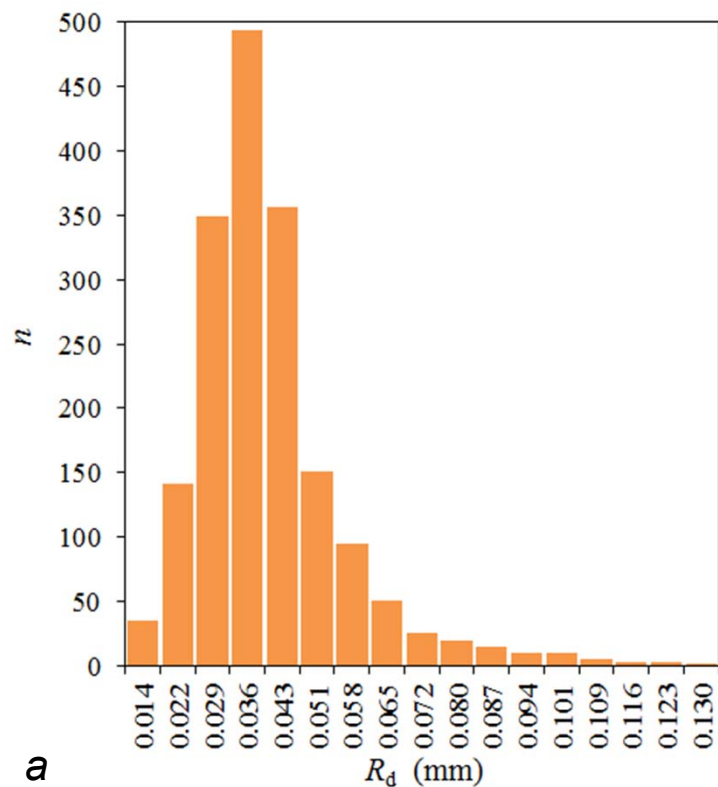




Средства измерения концентрации и дисперсности

25

INTERFEROMETRIC PARTICLE IMAGING (IPI) INTERFEROMETRIC MIE IMAGING (IMI)



Гистограммы с распределением размеров капель при генерации потока одной (а) и двумя (б) распылительными форсунками, полученные с применением IPI метода





Спасибо за внимание!

