

part of **VERDER**  
scientific

## ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Гранулометрический анализ  
частиц порошков, гранул и  
суспензий с классом  
крупности от 1 мкм до 30 мм





### Уважаемые читатели, заказчики и партнеры!

Каждый метод гранулометрического анализа имеет свою сферу применения, а также свои достоинства и недостатки. В данном выпуске журнала для потребителей "the sample" подразделения VERDER SCIENTIFIC, посвященном гранулометрическому анализу, представлена линейка продукции компании RETSCH TECHNOLOGY для динамического анализа изображений, а также приводится обзор других актуальных методов анализа

**Компания RETSCH TECHNOLOGY – один из ведущих мировых поставщиков аналитического оборудования, разработанного на основе таких методов, как Динамический Анализ Изображений (ДАИ), лазерная дифракция и ситовый анализ, с оптимальным использованием достоинств и недостатков каждого метода**

В настоящем выпуске журнала компания с гордостью представляет анализатор серии CAMSIZER нового поколения: Анализатор CAMSIZER P4 оснащен новыми видеокамерами с более высокой скоростью съемки и разрешающей способностью, более ярким источником света и обновленным программным обеспечением. Все эти инновации увеличивают точность измерения и расширяют его диапазон, поскольку более высокое разрешение увеличивает точность анализа размера и формы частиц, особенно для проб тонкого помола.

Кроме того, в выпуске сравниваются достоинства и недостатки различных методов анализа, чтобы облегчить задачу по выбору оптимального метода для конкретной области применения.

Мы готовы найти оптимальное решение по выбору оборудования для гранулометрического анализа. Обратитесь к нам за консультацией!

С уважением,

Д-Р ЮРГЕН ПАНКРАТЦ (JÜRGEN PANKRATZ)  
ДИРЕКТОР ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ VERDER SCIENTIFIC

# Гранулометр

## Динамический анализ изображений

Динамический Анализ Изображений (ДАИ) – это современный метод гранулометрического анализа порошков, гранул и суспензий. Оптические анализаторы CAMSIZER P4 и CAMSIZER XT компании RETSCH TECHNOLOGY используют эту технологию, позволяя выполнять гранулометрический анализ частиц с классом крупности от 1 мкм до 30 мм. Динамический анализ цифровых изображений используется в различных отраслях, таких как контроль качества и научно-исследовательская деятельность. Он активно вытесняет такие традиционные методы, как лазерная дифракция и ситовый анализ.

### АНАЛИЗ РАЗМЕРА И ФОРМЫ ЧАСТИЦ С КЛАССОМ КРУПНОСТИ ОТ 1 МКМ ДО 30 ММ В ВЫСОКОМ РАЗРЕШЕНИИ

Методы анализа цифровых изображений имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами, такими как ситовый анализ и лазерная дифракция. **Измерения выполняются отдельно для каждого изображения, позволяя получить подробную картину по размерам и форме частиц.** Динамический анализ охватывает значительно больше параметров, чем традиционные методы, так как измерению подвергаются также длина, ширина, круглость и ребристость частиц.

Анализаторы, использующие метод динамического анализа изображений, как правило, оснащаются оптическими системами, куда входят видеокамеры, объективы и источники света, а также системами загрузки проб. Видеокамеры фиксируют теневые проекции частиц, создаваемые при движении их между источником света и видеокамерой. Залогом высокой точности анализа является откалиброванная оптическая система с мощными источниками света и малым временем выдержки, а также высокопроизводительное программное обеспечение: видеокамеры анализаторов CAMSIZER имеют скорость съемки свыше 270 кадров в секунду, а измерения выполняются в реальном времени. Среднее время анализа составляет от 2 до 5 мин, позволяя выполнить анализ нескольких миллионов частиц.

### ОБЪЕМ ПРОБЫ

Для получения точных результатов объем пробы должен быть репрезентативным. Объем зависит от размера частиц, то есть диапазона значений ширины – чем больше размеры, в особенности ширина, тем больше должен быть объем пробы. Для тонких порошков с размером частиц несколько микронов достаточным считается объем в несколько миллиграммов, что, с учетом большого числа частиц, дает надежные результаты. При анализе гравия, измельченной руды или угля необходимо уже несколько килограмм.

# Динамический анализ

## ДИАПАЗОНЫ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА

Размер частиц	1 нм	1 мкм	1 мм	1 м
<b>Динамический анализ изображений</b>				
CAMSIZER®P4			20 мкм	30 мм
CAMSIZER®XT		1 мкм	3 мм	
<b>Статическое рассеивание лазерного света</b>				
LA-960	10 нм		5 мм	
<b>Ситовый анализ</b>				
Аналитическая просеивающая машина AS 200			20 мкм	125 мм
Воздушструйная просеивающая машина AS 200 jet		10 мкм	4 мм	
<b>Статический анализ изображений</b>				
Микроскопия		600 нм	1 мм	

● Измерение в сухой среде
 ● Измерение во влажной среде

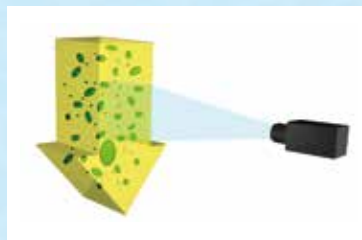
мов материала. В обеспечении точности измерений особую роль играют пробоотбор и прободеление, которые должны выполняться так же тщательно, как и сам анализ. Использование прободелителей (например, ротационного прободителя RETSCH PT 100) особенно рекомендуется для проб с широким диапазоном размеров частиц. Надежность и повторяемость результатов возрастают с увеличением объема пробы. В сравнении с другими методами гранулометрического анализа, такими как лазерная дифракция или статический анализ изображений (микроскопия), для динамического анализа изображений требуется достаточно большой объем пробы, что является несомненным преимуществом.

## Сравнение статического и динамического анализа изображений



### СТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ (ISO 13322-1)

- При проведении измерений частицы неподвижны
- Высокое разрешение > 0,5 мкм
- Анализ нескольких сотен частиц (статистически не репрезентативно)
- Ограниченный диапазон измерения < 1 мм
- Длительное время анализа
- При анализе частицы имеют одинаковое расположение в пространстве (в двух измерениях)



### ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ (ISO 13322-2)

- Видеокамера фиксирует частицы в движении
- Разрешение > 1 мкм
- Анализ нескольких миллионов частиц (высокая репрезентативность)
- Широкий диапазон измерения до 30 мм
- Высокая скорость анализа
- При измерении частицы имеют различное расположение в пространстве (в трех измерениях)

# ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ

От получения изображений частиц до определения гранулометрического состава



При динамическом анализе изображений измерениям подвергаются теневые проекции частиц. Анализаторы CAMSIZER P4 и CAMSIZER XT с помощью многоступенчатого алгоритма преобразуют полутоновые изображения в бинарные, что позволяет с точностью определить нужные параметры. После этого измеряются значения размера и формы. Значениям для каждого измерения присваиваются классы, общее число которых, благодаря высокому разрешению, составляет 10 000.



## ПАРАМЕТРЫ РАЗМЕРОВ И ФОРМЫ ЧАСТИЦ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Анализ изображений частиц различного размера имеет значительные преимущества, поскольку позволяет непосредственно определять их длину и ширину. В зависимости от области применения, при анализе могут учитываться различные параметры, связанные с размерами. Например, при анализе частиц продолговатой формы (целлюлозные волокна, частицы катализаторов, экструдированный пластик в гранулах или рисовые зерна) длина частиц является наиболее показательным параметром. В ситовом анализе, напротив, основное внимание уделяется ширине частиц, поскольку они принимают такое положение в пространстве, чтобы проходить в отверстия сита своим меньшим сечением. В динамическом анализе изображений гранулометрический состав определяется с учетом различных параметров, связанных с размером частиц. Переменная  $x_{c \min}$  определяет ширину частицы, а переменная  $x_{Fe \max}$  определяет ее длину. Соответственно, результат  $x_{Fe \max}$  выше, чем  $x_{c \min}$ . Переменная хагеа определяется как круг, площадь которого равна площади проекций всех частиц (см. рис. 1, кривая зеленого цвета).

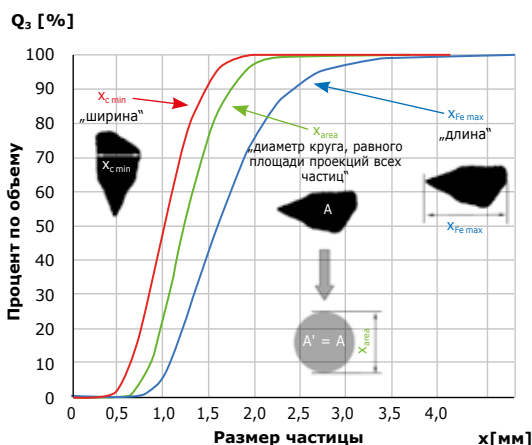


Рис. 1: Различные параметры размера частиц, учитываемые при динамическом анализе изображений

## ДИАПАЗОН ИЗМЕРЕНИЯ

Верхний и нижний пределы диапазона измерения определяются различными факторами (см. ISO 13322-1 и -2). Нижний предел определяется разрешающей способностью видеокамеры. Определяющим критерием считается наименьший размер частиц, который процессор видеокамеры может представить как один пиксель (= наименьший элемент изображения). Масштаб отображения определяется при помощи тестовых объектов для калибровки, имеющих точно определенные разме-

ры. Теневая проекция частиц наименьшего размера отображается процессором минимум как половина пикселя, и этот размер, как правило, считается порогом обнаружения, или нижним пределом диапазона измерения.

Верхний предел диапазона измерения анализаторов на основе динамического анализа изображений определяется полем зрения камер.

Теневые проекции частиц, выходящие за край поля зрения, должны исклю-

чаться из анализа, поскольку точно определить размер частиц в данном случае невозможно (рис. 3). Из-за этого крупные частицы могут быть недостаточно представлены в выборке, так как именно они чаще всего выходят за край поля зрения. Алгоритм программного обеспечения анализаторов CAMSIZER, в соответствии с стандартом ISO 13322-1, компенсирует этот эффект, что позволяет точно представить процентное отношение крупных частиц в выборке.

Функция корректировки дает надежные результаты, если частицы находятся в

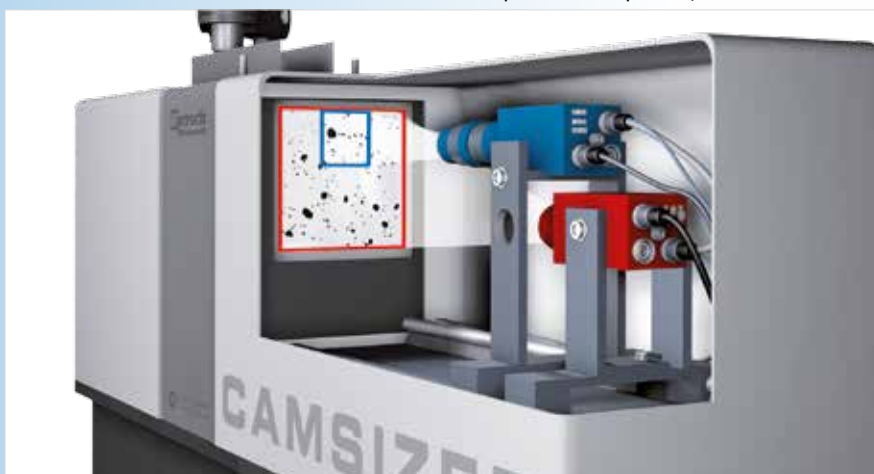


Рис. 2: Система из двух видеокамер анализатора CAMSIZER P4

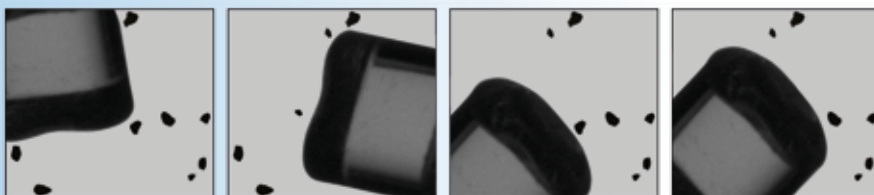


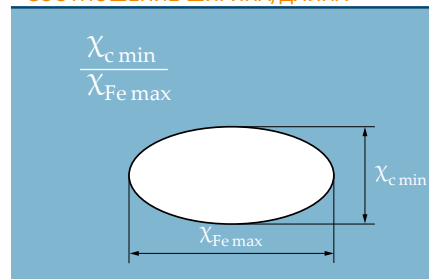
Рис. 3: Верхний предел диапазона измерений определяется вероятностью того, что крупная частица полностью попадет в поле зрения видеокамеры

пределах поля зрения камеры не менее чем на одну треть от размера. Частицы большего размера можно измерить с достаточной точностью, только если проба имеет большой объем.

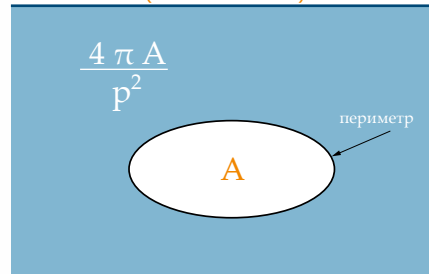
Возможности оборудования для динамического анализа изображений, как правило, ограничены динамическим диапазоном размеров частиц – соотношением размеров самых малых и самых крупных частиц, приблизительно равным 50. Однако поскольку большинство сыпучих веществ, подвергающихся анализу, как правило, имеет различный диапазон размеров частиц, какая-либо из фракций – тонкая или грубая – может быть представлена недостаточно. Для точного измерения гранулометрического состава методом анализа изображений теоретически может потребоваться выполнить

несколько измерений с различным разрешением камеры и суммировать полученные значения. Для анализаторов CAMSIZER эта проблема решается с помощью запатентованной технологии, использующей две видеокамеры (рис. 2): частицы одновременно фиксируются двумя камерами в различном масштабе. Видеокамера с зум-объективом, имеющая меньшее поле зрения, и обычная видеокамера с большим полем зрения, но низкой разрешающей способностью работают под управлением программного обеспечения и позволяют выполнять измерение частиц различного гранулометрического состава за одну операцию. Это позволяет охватить диапазон частиц с соотношением размеров, равным 30, и получить статистически достоверные результаты измерений.

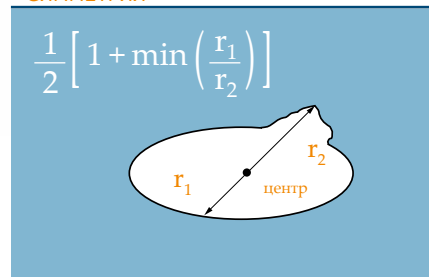
### СООТНОШЕНИЕ ШИРИНА/ДЛИНА



### КРУГЛОСТЬ (СФЕРИЧНОСТЬ)



### СИММЕТРИЯ



### ВЫПУКЛОСТЬ

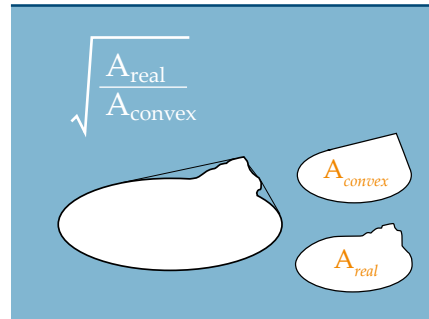


Рис. 4: Помимо параметров размера, для определения качества продукта также требуется определение различных параметров формы. На рисунке приведены наиболее актуальные параметры формы частиц

# CAMSIZER® P4

## Динамический анализ изображений нового поколения

Оптический анализатор CAMSIZER P4, новейшее поколение системы CAMSIZER, о достоинствах которого свидетельствует более чем 1000 установленных приборов по всему миру, – один из наиболее эффективных приборов для гранулометрического анализа с использованием метода динамического анализа изображений. Анализатор CAMSIZER P4 выполняет комплексный анализ гранулометрического состава частиц (размера и формы) сухих сыпучих материалов с высокой текучестью и классом крупности от 20 мкм до 30 мм. Благодаря запатентованной технологии анализа с помощью двух видеокамер, не требуется выполнение какой-либо коррекции диапазона размеров или дополнительной регулировки оборудования. Сверхяркий светодиодный источник света, работающий в режиме стробоскопа, малое время выдержки и скорость съемки 60 кадров в секунду обеспечивают высочайшее разрешение изображения и, соответственно, надежный контроль качества. Стандартное время анализа составляет всего 2-3 минуты! Высокопроизводительное программное обеспечение CAMSIZER позволяет быстро и точно измерить параметры размера и формы частиц в широком диапазоне, что дает основания назвать анализатор CAMSIZER P4 незаменимым инструментом для научно-исследовательской работы и контроля качества. Повседневная работа с прибором упрощается при использовании автоподатчика проб - Autosampler или интеграции анализатора в технологическую линию.

**Помимо хорошо зарекомендовавших себя функций прошлого поколения, в четвертом поколении анализаторов CAMSIZER используется библиотека изображений CAMSIZER X-Plorer, позволяющая хранить и анализировать изображения, трехмерные диаграммы рассеивания и новые параметры формы (ребристость).**

### СТАНДАРТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АНАЛИЗА

- Строительные материалы
- Химические реагенты
- Удобрения
- Огнеупорные материалы
- Стекло/керамика
- Деревянная стружка
- Кофе
- Катализаторы
- Уголь/кокс
- Удобрения
- Продукты питания
- Металлические/кремниевые порошки
- Пестициды
- Фармацевтическая продукция
- Пропанты
- Соль/сахар
- Песок
- Абразивные материалы
- Стиральный порошок

См. видео на сайте  
[www.retsch.ru/camsizerp4](http://www.retsch.ru/camsizerp4)



Оптический анализатор CAMSIZER P4 – четвертое поколение в линейке продукции CAMSIZER. Важнейшие усовершенствования, внесенные в новую модель, включают:

- ▶ Более яркий источник света
- ▶ Более высокая контрастность
- ▶ Более высокая разрешающая способность видеокамеры
- ▶ Измерение ребристости частиц в большем диапазоне
- ▶ Увеличенный диапазон измерения
- ▶ Более глубокий анализ формы частиц
- ▶ Библиотека изображений CAMSIZER X-Plorer
- ▶ Трехмерные диаграммы распределения

## Новые возможности

### НОВИНКА: БИБЛИОТЕКА ИЗОБРАЖЕНИЙ CAMSIZER X-PLORER

Помимо измерения параметров размера и формы частиц в реальном времени, новая структура данных, используемая в программном обеспечении CAMSIZER, позволяет хранить большие объемы данных непосредственно в библиотеке изображений.

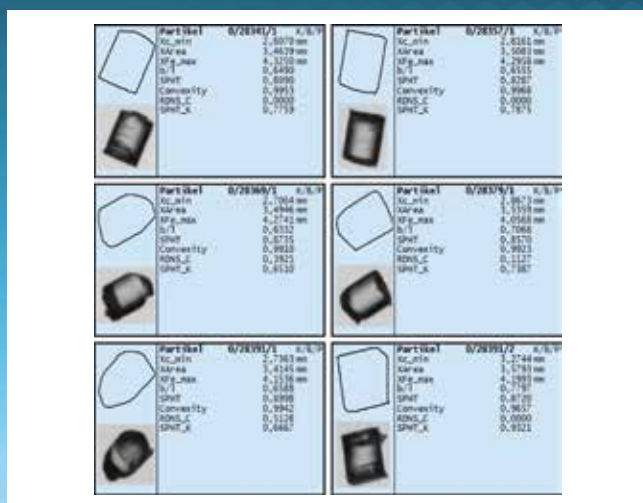


Рис. 1: Пример из библиотеки CAMSIZER Xplorer: экструдированный пластик в гранулах

Удобный интерфейс и высокая скорость обработки данных анализатора CAMSIZER P4 позволяют выполнять измерение сотен тысяч частиц за одну операцию. Параметры размера и формы частиц могут отображаться независимо друг от друга. Специальные фильтры позволяют выполнять отбор и анализ частиц по определенному

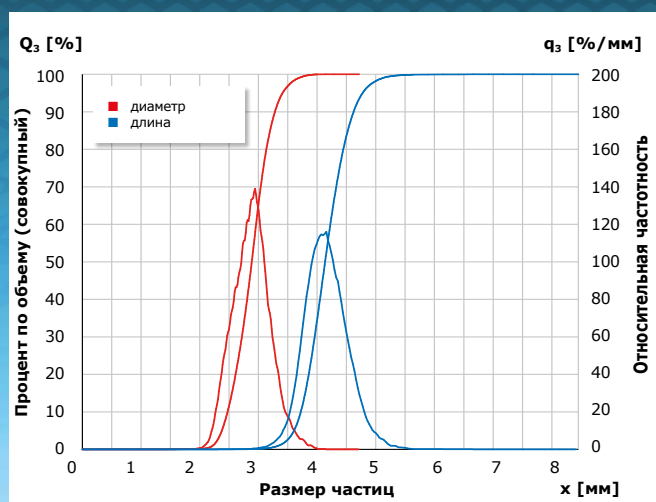


Рис. 2: Отдельное измерение диаметра и длины частиц с помощью оптического анализатора CAMSIZER P4

типу, например ширине и длине частиц пластикового гранулята (рис. 2). Яркий и равномерный источник света и большая глубина резкости позволяют фиксировать и анализировать даже прозрачные частицы.

### ИЗМЕРЕНИЕ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Важным преимуществом анализатора CAMSIZER P4 является его способность выполнять анализ результатов измерения в реальном времени. Процесс измерения можно наблюдать и контролировать с помощью функции

предварительного просмотра изображений в реальном времени. Программное обеспечение выполняет анализ всех изображений одновременно с процессом измерения, а отдельные изображения можно сохранить в библиотеку.

### НОВИНКА: ТРЕХМЕРНЫЕ ДИАГРАММЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Помимо широко известного двухмерного графического отображения размеров и формы частиц, программное обеспечение CAMSIZER X-Plorer предлагает и трехмерное отображение (трехмерные диаграммы распределения), показывающие все три параметра на одной диаграмме. Каждой точке на диаграмме (рис. 3) соответствует одна частица в базе данных. Таким образом, становится возможным разделить и такие пробы, которые кажутся идентичными в двухмерном отображении. Это позволяет быстрее и проще отделять компоненты смесей и впоследствии выполнять анализ различных фракций. На примере показана смесь стеклянных гранул высокой отражающей способности (круглые, прозрачные) с гранулами корунда высокой шероховатости (некруглые, непрозрачные).

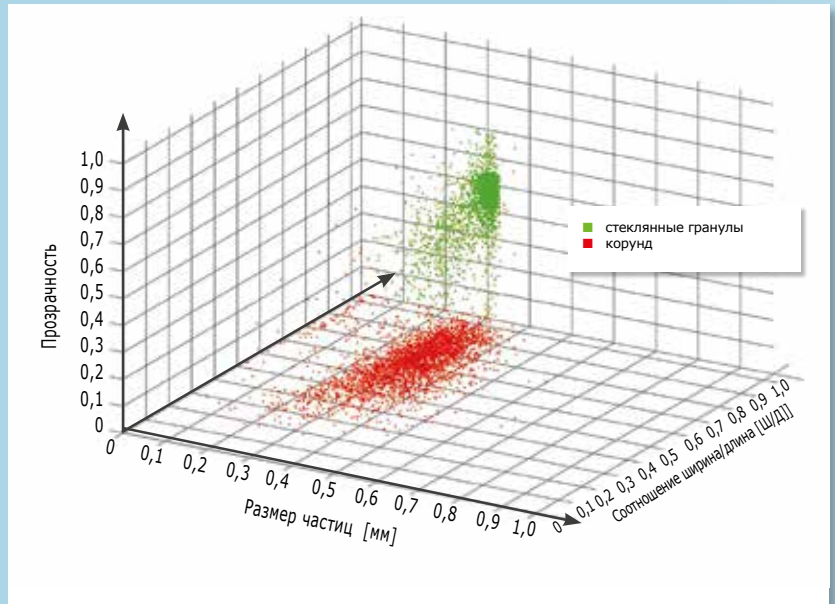


Рис. 3: Графическое отображение трех параметров – размер частиц, прозрачность и соотношение ширина/длина – смеси гранул стекла и корунда

### НОВИНКА: АНАЛИЗ ЧАСТИЦ ПРОДОЛГОВОЙ ФОРМЫ

Благодаря способности анализировать степень ребристости частиц, а также высокому разрешению видеокамер анализатор CAMSIZER P4 идеально подходит для анализа частиц сложной формы. Новое программное обеспечение может определять степень угловатости/ребристости частиц на изображении, вычисляя средний радиус закругления всех углов и деля полученные значения на наибольший радиус вписанной окружности (рис. 4).

Данный параметр формы имеет особое значение при анализе материалов, округлость частиц которых является важным свойством, например абразивов или песка особых сортов. Традиционный анализ формы с использованием таблицы Крумбейна и Шлосса включает изучение пробы песка под микроскопом и визуальную оценку формы частиц по таблице (рис. 5). Новый алгоритм анализатора CAMSIZER P4 дает результаты, идентичные анализу, выполняемому вручную в течение длительного времени и требующему подтверждения сотнями повторных испытаний. Более того, результаты, полученные с помощью анализатора, отличаются лучшей повторяемостью и не зависят от индивидуальных особенностей восприятия.

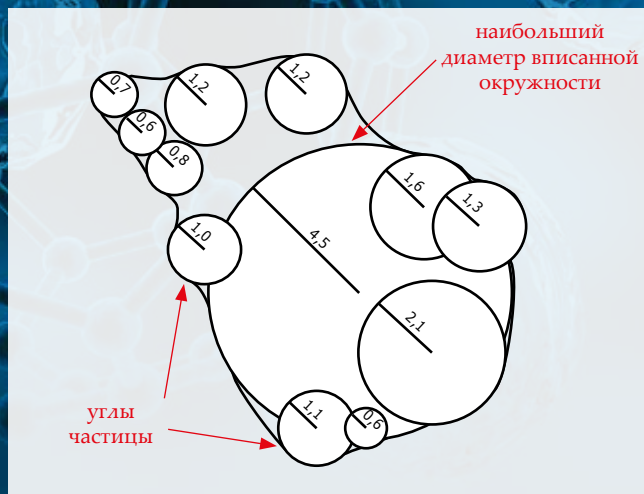


Рис. 4: Степень угловатости вычисляется как средний радиус всех углов, поделенный на наибольший радиус вписанной окружности

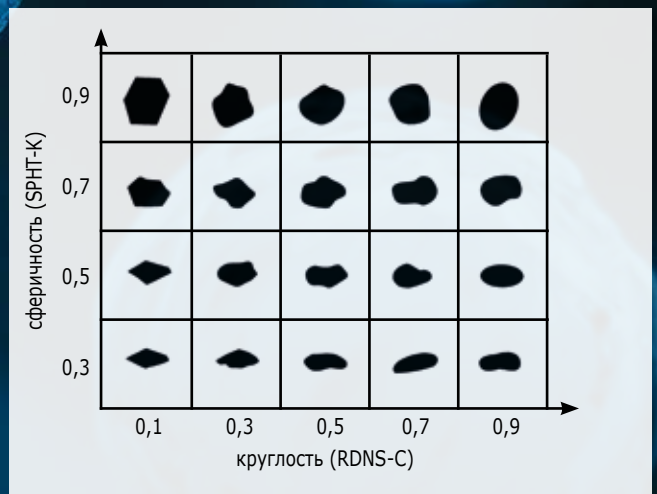


Рис. 5: Таблица Крумбейна и Шлосса для визуального определения округлости и сферичности

## БОЛЕЕ ВЫСОКОЕ РАЗРЕШЕНИЕ – БОЛЕЕ ТОЧНЫЙ АНАЛИЗ

Проба мелких стеклянных гранул ( $d_{50} = 110 \text{ мкм}$ ) была подвергнута измерению с помощью анализатора CAMSIZER P4 (красный цвет) и анализатора CAMSIZER 2006 второго поколения (синий цвет). Анализ показал, что проба состоит из частиц, в незначительной мере разделяющихся на два типа, что способен обнаружить анализатор CAMSIZER P4, благодаря высокой разрешающей способности и увеличенному диапазону ребрестности.

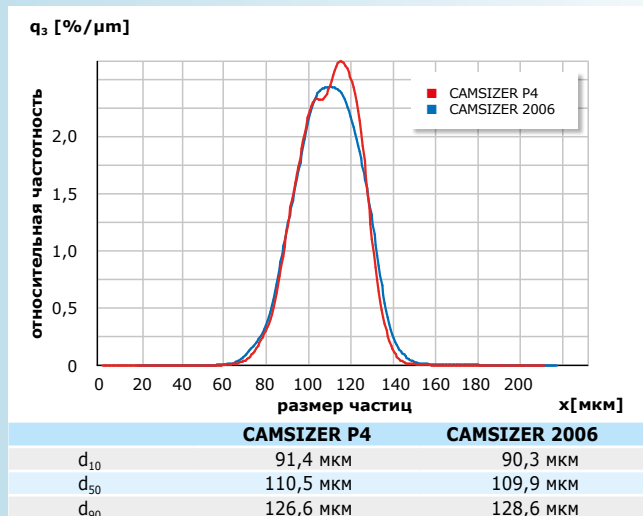


Рис. 6: Анализ стеклянных гранул с помощью оптических анализаторов CAMSIZER P4 и CAMSIZER 2006. Разрешающая способность анализатора CAMSIZER P4 стала заметно выше

Однако значения  $d_{10}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{90}$  не различаются обеими моделями анализаторов CAMSIZER. Что касается размеров стеклянных гранул (в данном случае: округлость, сферичность), анализатор CAMSIZER P4 успешно справляется с более высокими значениями округлости.

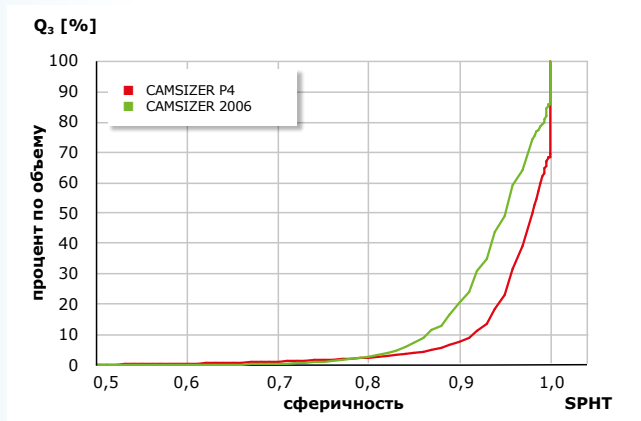
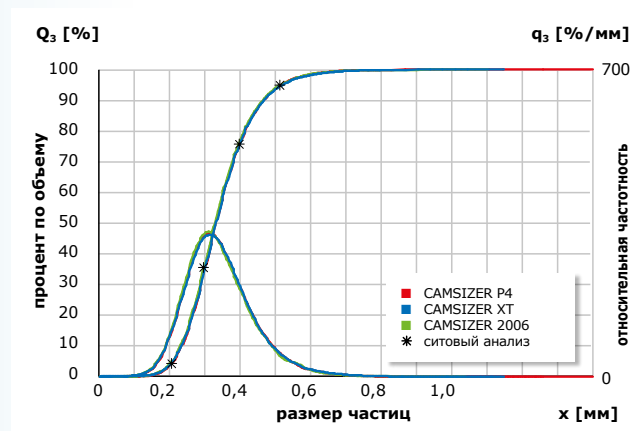


Рис. 7: Измерение сферичности стеклянных гранул с помощью анализатора CAMSIZER P4, а также предыдущей модели CAMSIZER 2006. Благодаря усовершенствованной оптической системе новое поколение способно выполнить более точный анализ формы частиц самого малого класса крупности

## ТРИ МОДЕЛИ – ОДИН РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЙ

Оптические анализаторы CAMSIZER P4 и CAMSIZER XT используют один и тот же принцип измерения, но различаются характеристиками разрешения, диспергирования и подачи материала. На рис. 8 показан результат анализа пробы песка с диапазоном размеров частиц от 10 до 800 мкм. Анализ образца выполняется как с помощью анализатора CAMSIZER P4, так и с помощью анализатора CAMSIZER XT. На графике приведено сравнение результатов анализа для CAMSIZER P4 с CAMSIZER XT и старой моделью анализатора CAMSIZER 2006. Результаты сопоставимы и совпадают с результатами ситового анализа.

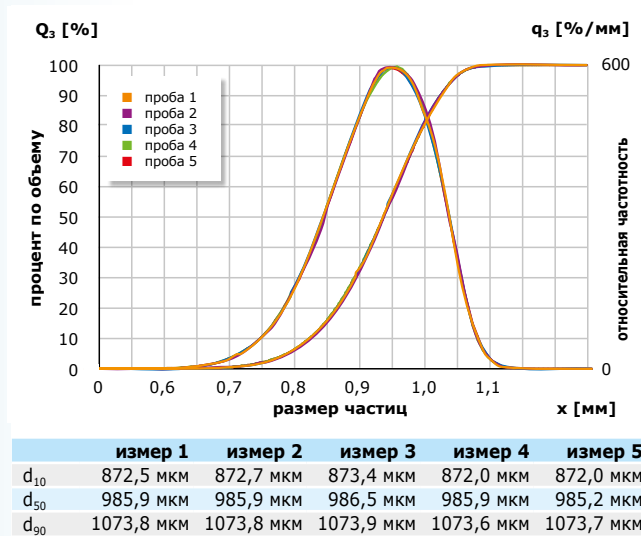
Рис. 8: Анализ пробы песка с помощью анализатора CAMSIZER P4, CAMSIZER XT, CAMSIZER 2006, а также ситового анализа. Различная разрешающая способность анализаторов не сказывается на анализе простых проб с различным диапазоном размеров частиц



## МАКСИМАЛЬНАЯ ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ

Превосходная повторяемость результатов измерений свидетельствует о надежности метода динамического анализа изображений. На примере показан анализ пяти проб вспененного полистирола с помощью анализатора CAMSIZER P4. Кривые идентичны, и значения  $d_{10}$ ,  $d_{50}$  и  $d_{90}$  со всей очевидностью говорят о воспроизводимости измерений.

Рис. 9: Анализ пяти проб вспененного полистирола с помощью анализатора CAMSIZER P4 с отличной повторяемостью результатов



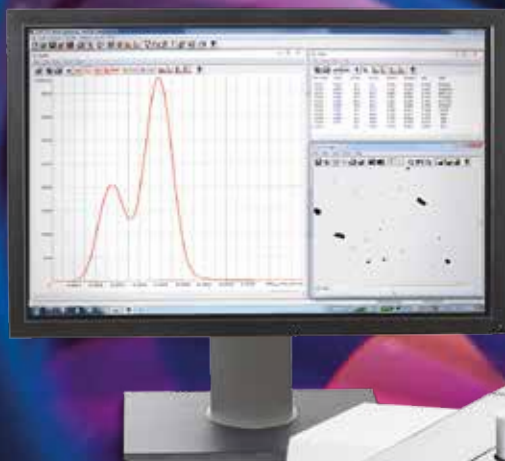
# CAMSIZER® XT

## Анализ тонких порошков



dual camera  
technology

Результаты контроля качества тонких порошков можно значительно улучшить с помощью оптического анализатора CAMSIZER XT: Высокая точность и скорость анализа размеров и формы частиц помогает улучшить качество продукта, снизить процент брака и сэкономить затраты.



См. видео на сайте  
[www.retsch.ru/camsizerxt](http://www.retsch.ru/camsizerxt)



**Оптический анализатор CAMSIZER XT разработан специально для анализа тонких порошков и гранул, имеющих склонность к агломерации. По сравнению с анализатором CAMSIZER P4, модель CAMSIZER XT отличается оптической системой с более высокой разрешающей способностью, а также возможностью использовать систему автоматической подачи материала.**

Большие силы взаимодействия вынуждают самые мелкие частицы слипаться между собой, что затрудняет определение геометрических характеристик каждой частицы. Таким образом, частицы должны равномерно распределяться при подаче в зону измерений. В сочетании с различными загрузчиками проб анализатор CAMSIZER XT обеспечивает качествен-

ное распределение частиц. Слипшиеся частицы разделяются под воздействием механической силы нужной величины, которая прикладывается к пробе перед выполнением анализа. Основной задачей, особенно для материалов с высокой чувствительностью, является поиск способа разделения слипшихся частиц, не повреждая их.

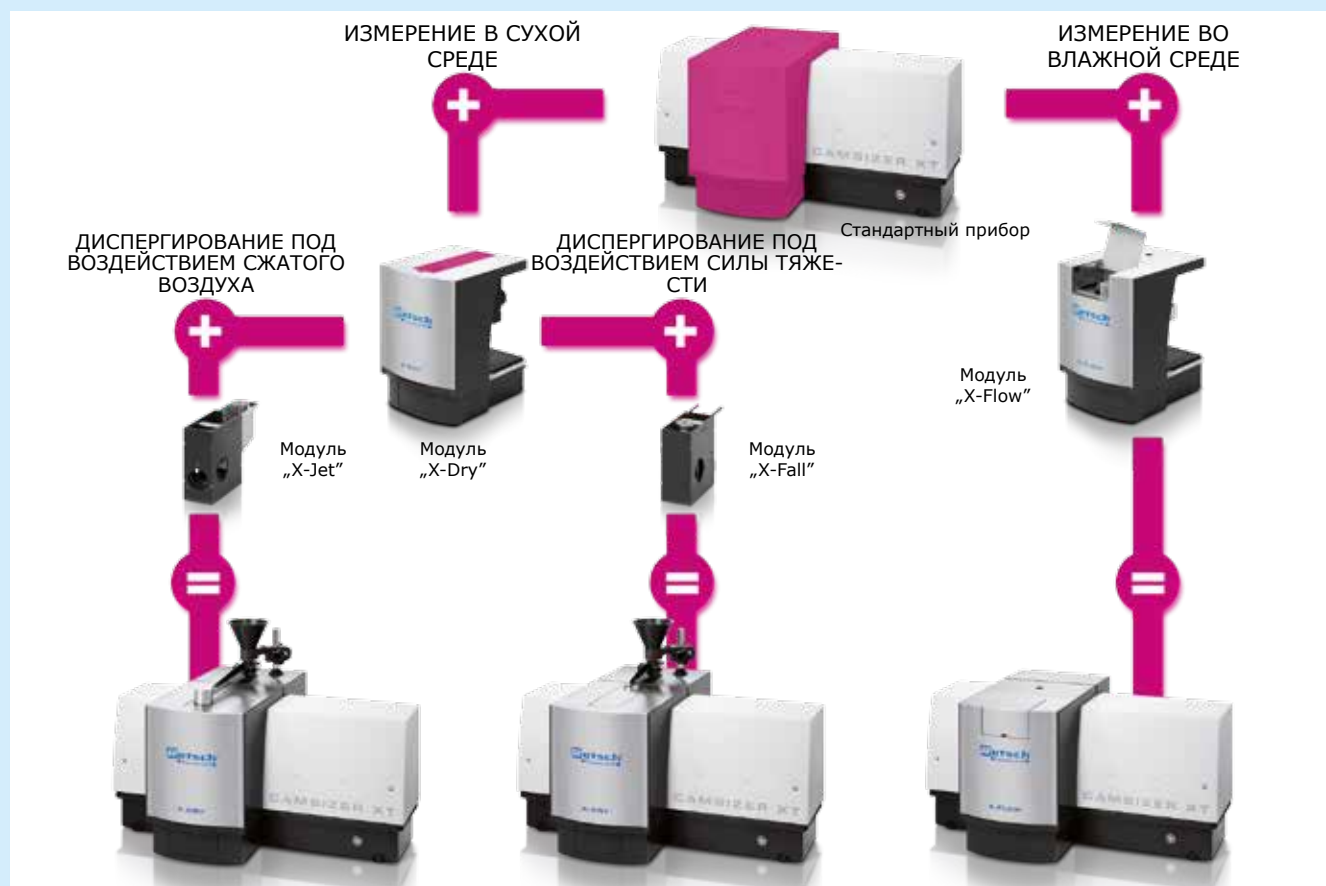
Оптический анализатор CAMSIZER XT может создавать различные распределение частиц в зоне измерения. Сухие пробы распределяются под воздействием силы тяжести или давления воздуха при проходе порошка через сопло сжатым воздухом, в результате чего силы сдвига разделяют слипшиеся частицы. Использование сопел различной геометрии и возможность в любое время изменить давление воздуха в

диапазоне от 10 до 460 кПа позволяют учитывать особенности различных материалов.

Анализ проб свободно просыпающихся, не склонных к агломерации, выполняется при свободном падении, под воздействием силы тяжести, без необходимости дополнительного диспергирования частиц. Анализатор CAMSIZER XT также способен работать с частицами, взвешенными в жидкости (суспензии, эмульсии), где с агломерацией можно справиться с помощью ультразвука. Модульная конструкция анализатора позволяет удобно менять режимы работы выбирая различные варианты диспергирования частиц.

## Модульная конструкция для создания оптимальных условий измерения

Система X-Change анализатора CAMSIZER XT предлагает три различных способа диспергирования частиц, позволяющих выбрать оптимальное решение для каждого типа проб.



### ДИСПЕРГИРОВАНИЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СЖАТОГО ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ КАРТРИДЖА X-JET

**Диапазон измерения от 1 мкм до 1,5 мм**

Диспергирование (т.е. разделение частиц в зоне измерения) является важным условием качества измерения характеристик отдельных частиц. Благодаря широким возможностям регулировки картриджа X-Jet, анализ материалов может выполняться в оптимальных условиях. Метод динамического анализа изображений позволяет анализатору CAMSIZER XT обнаруживать как отдельные, так и слипшиеся частицы, выполняя анализ формы, а затем регулируя давление, так, как это необходимо. После анализа проба удаляется из камеры с помощью вытяжной системы. Если необходимо выполнить повторный анализ пробы, можно использовать циклон (опция). Сжатый воздух сообщает частицам ускорение до 50 м/с. Малое время выдержки позволяет выполнять анализ частиц размером < 5 мкм. Новые дополнительные сопла облегчают диспергирование частиц, размеры которых значительно превышают 1,5 мм.

### ДИСПЕРГИРОВАНИЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ С ПОМОЩЬЮ КАРТРИДЖА „X-FALL“

**Диапазон измерений от 10 мкм до 3 мм**

Пробы свободно просыпающиеся, не склонные к агломерации, можно анализировать с помощью картриджа X-Fall. В этом режиме частицы попадают по лотку в поле зрения двух видеокамер только под действием силы тяжести. Низкая скорость движения частиц, большое поле зрения камер и высокая скорость съемки значительно улучшают эффективность обнаружения, в особенности частиц больших размеров. Нередко для надежного и воспроизводимого обнаружения бывает достаточно лишь нескольких крупных частиц размером, например, 3 мм. После измерения проба попадает в приемный бункер и может использоваться для повторного анализа, не подвергаясь риску потери или загрязнения. Также можно дополнительно увеличить диапазон измерений картриджа до 8 мм.

### ДИСПЕРГИРОВАНИЕ ЧАСТИЦ ВО ВЛАЖНОЙ СРЕДЕ С ПОМОЩЬЮ МОДУЛЯ X-FLOW

**Диапазон измерений от 1 мкм до 600 мкм**

Модуль X-Flow для работы с частицами во влажной среде позволяет выполнять анализ проб в виде суспензий или эмульсий с диапазоном размеров частиц от 1 до 600 мкм. Достоинство этого модуля – малый объем пробы, требуемый для анализа. Низкой концентрации частиц в суспензии, например 20 мг/л, достаточно для получения воспроизводимых результатов всего в течение минуты. Нижний предел диапазона измерений для модуля X-Flow составляет 1 мкм. Данный модуль позволяет анализатору CAMSIZER XT без труда работать с частицами в суспензии низкой концентрации, размеры которых значительно превышают 1 мм, поскольку частицы остаются во взвешенном состоянии. Этому также помогает использование кюветы шириной 4 мм. После этого может быть выполнено разделение слипшихся частиц при помощи встроенного ультразвукового модуля.

# Сферы применения

## АБРАЗИВЫ: НАДЕЖНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ГРАНУЛ БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ

Абразивные материалы могут состоять как из тонких, так и грубых частиц, с учетом того, что средний размер частиц составляет приблизительно 60 мкм. Абразивы, состоящие из частиц минералов высокой твердости, таких как корунд, кварц, гранат, карбид кремния, нитрид бора или алмаз, производятся в промышленных масштабах или добываются из натуральных месторождений. Узкий

диапазон размеров частиц при отсутствии частиц, размеры которых превышают среднее значение, является гарантией высоких абразивных свойств материала. Также критерием качества является форма частиц. В зависимости от сферы применения и типа абразива, он может состоять из частиц как заостренной, так и тупой формы.

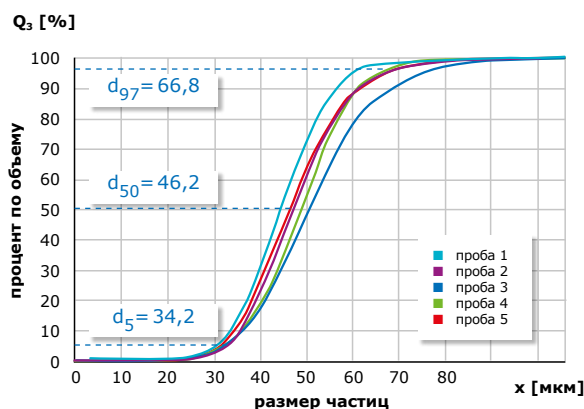


Рис. 1: Гранулометрический состав частиц абразивных материалов от пяти различных производителей

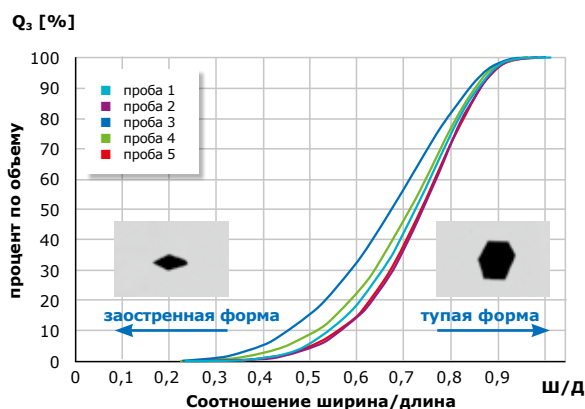
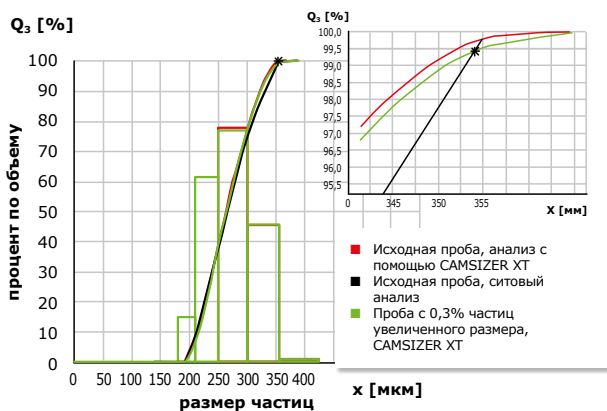


Рис. 2: Соотношение ширина/длина частиц абразивных материалов

На графике 1 показан гранулометрический состав пяти проб абразивов (микрозерна класса P320) от пяти различных производителей. Характеристики частиц, в соответствии с FEPA, должны быть следующими:  $d_{50} = 46,2 \pm 1,5$  мкм, макс.  $d_{97} = 66,8$  мкм; мин.  $d_5 = 34,2$  мкм. Результаты измерений, выполненных анализатором CAMSIZER XT с диспергированием частиц под давлением 50 кПа, позволяют судить, что пробы 1 и 2 определенно не соответствуют требованиям.

Пять проб также имеют слишком широкий диапазон размеров частиц. На рис. 2 показано соотношение ширина/длина, как и в случае объемного распределения Q3. По мере продолжения кривой частицы принимают все более продолговатую и заостренную форму.



Эффективное обнаружение частиц с размерами, превышающими допустимые, также играет важную роль в контроле качества. На рис. 3 показан анализ частиц пробы P60 ( $d_{50}$  составляет приблизительно 260 мкм). Кривая красного цвета отображает результаты анализа для CAMSIZER XT, а черная пунктирная линия на графике увеличенного масштаба — результаты ситового анализа. Кривая зеленого цвета отображает результаты измерения после добавления в исходную пробу 0,3% частиц с размерами, превышающими допустимый. Анализатор CAMSIZER XT надежно обнаруживает даже столь малое количество частиц.

Рис. 3: Оптический анализатор CAMSIZER XT эффективно обнаруживает самые незначительные количества частиц с размерами, превышающими допустимые (кривая зеленого цвета), а также дает результаты, идентичные результатам ситового анализа.

## СУХОЕ МОЛОКО: ЭФФЕКТИВНОЕ РАССЕЙВАНИЕ ЧАСТИЦ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Грануляция таких материалов, как детское питание или растворимые напитки, выполняется на этапе производства. Требуемый размер частиц достигается путем агломерации исходных частиц в процессе гомогенизации компонентов. Диспергирование под действием сжатого воздуха упрощает анализ сильно слипшихся частиц, например в сухом молоке. В данном примере наименьший размер исходных частиц составляет всего 10 мкм. На рис. 4 показан анализ сухого молока с диспергированием частиц под действием различного давления сжатого воздуха. С увеличением давления слипшиеся частицы распадаются быстрее, а полученные в результате размеры меньше, что видно по автоматически выполняемым фотографиям частиц. Таким образом, становится возможным не только определить размеры исходных частиц, но и определить различные этапы агломерации, по которым можно судить о стабильности сухого молока при хранении, транспортировке и обработке.

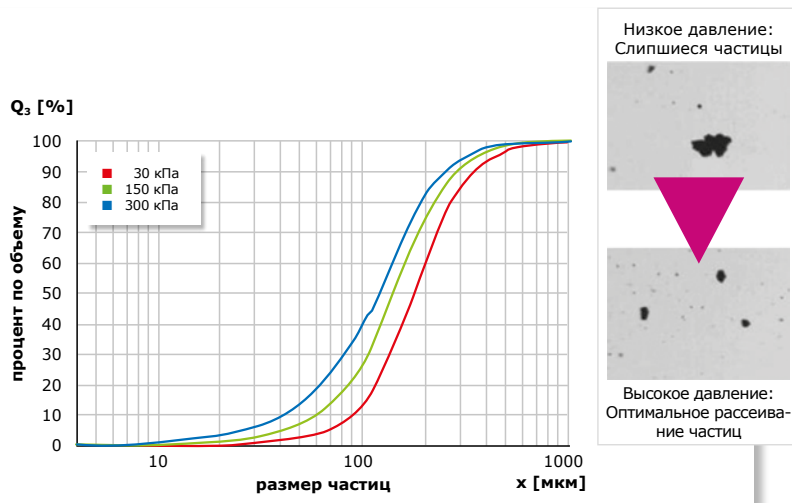


Рис. 4: Анализ пробы сухого молока при дисперсии частиц под действием различного давления с помощью анализатора CAMSIZER XT. С увеличением давления размеры частиц становятся меньше

## КРАХМАЛ: ФОРМА ВАЖНА

Порошок крахмала используется в качестве наполнителя, например, при производстве бумаги или фармацевтической продукции. На примере показаны порошки крахмала двух типов сходного гранулометрического состава с идентичным средним значением  $d_{50}$ . Однако, несмотря на идентичность формы частиц, пробы различаются со-

отношением ширина/длина. Проба волокнистой структуры (синий цвет) отличается низким значением Ш/Д, а ее конкурент (красный цвет) отличается компактными частицами равносторонней формы и существенно более высоким соотношением Ш/Д.

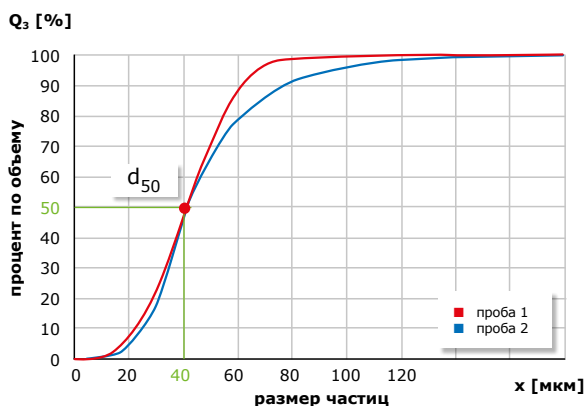


Рис. 5а: Гранулометрический состав двух проб различных порошков крахмала

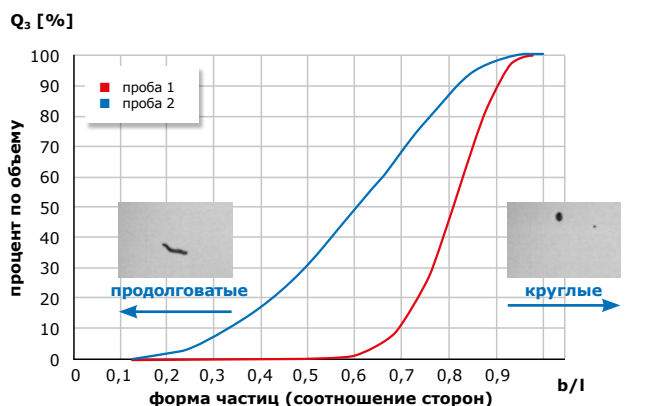


Рис. 5б: Соотношение ширина/длина двух проб сильно различается

# Сравнение методов анализа частиц

Динамический анализ изображений | Лазерная дифракция | Ситовый анализ



Динамический анализ изображений Оптический анализатор CAMSIZER®XT

Лазерная дифракция LA-960



Просеивающая машина AS 200 control

Наиболее распространенными методами определения размеров частиц являются динамический анализ изображений, статическое рассеивание лазерного света (также известное как лазерная дифракция) и ситовый анализ. Каждому методу соответствует собственный класс крупности частиц, для которого возможно выполнение измерений (см. таблицу на стр. 3). Три приведенных метода подходят для анализа частиц с диапазоном размеров от 10 мкм до 3 мм. Однако результаты измерений одной пробы могут существенно различаться. Поскольку динамический анализ изображений является единственным методом, позволяющим одновременно анализировать различные параметры размеров частиц, можно сравнить результаты анализа с использованием данного метода с результатами для других методов анализа.

## ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ (ДАИ) И СИТОВЫЙ АНАЛИЗ

Основное различие между динамическим анализом изображений и ситовым анализом состоит в том, что в первом случае может выполняться анализ частиц, принимающих любое положение в пространстве. При просеивании частицы проходят сквозь сито, располагаясь в отверстиях своим наименьшим сечением. Таким образом, при сравнении результатов динамического анализа изображений и ситового анализа в обоих случаях должна учитываться ширина частиц. Результаты анализа частиц сферической или

эллиптической формы (например, зерна риса) в целом идентичны; если рассматривать частицы линзообразной формы как модель плоских частиц, то разница между ситовым анализом и динамическим анализом изображений станет очевидной. В зависимости от положения частицы в пространстве в момент фиксации видеокамерой, измеряются больший (шире) или меньший (уже) диаметр частиц (рис. 1). Напротив, по результатам ситового анализа, диаметр линзовидных частиц всегда оказывается занижен на 30%. Это при-

водит к последовательному несовпадению результатов двух типов анализа, в зависимости от формы частиц. Поскольку анализаторы CAMSIZER XT и CAMSIZER P4 также определяют форму частиц, это несовпадение можно легко скомпенсировать при помощи специальной функции программного обеспечения, получив результаты, сопоставимые с результатами ситового анализа.

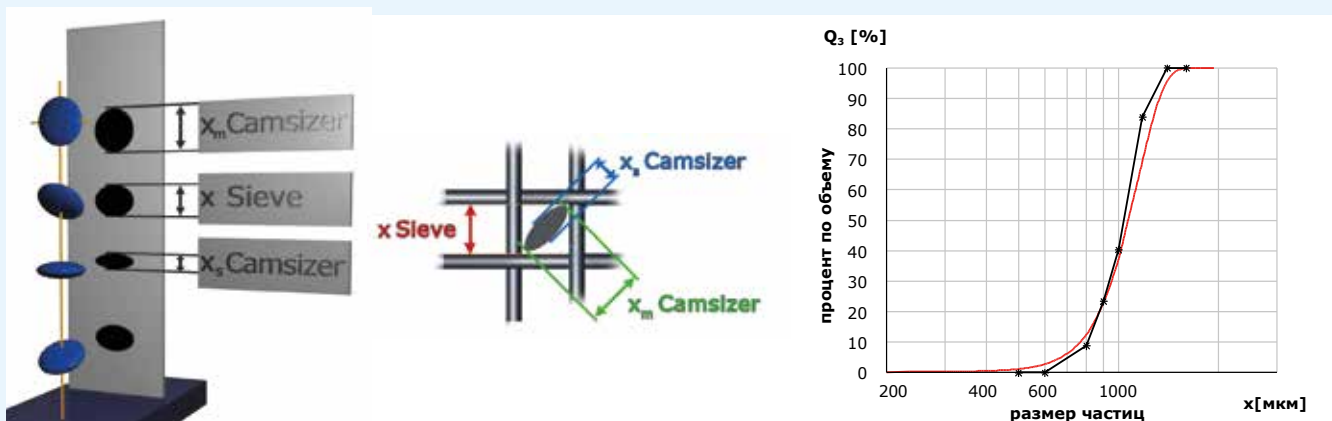


Рис. 1: Модель измерения частиц линзовидной формы при помощи ситового анализа и динамического анализа изображений. Частицы линзовидной формы проходят через самые малые отверстия сита, принимая диагональное положение. Динамический Анализ Изображений (ДАИ) определяет размеры частиц линзовидной формы как большие или меньшие, в зависимости от их положения. Результатом этого является различный гранулометрический состав частиц: кривая красного цвета соответствует результатам динамического анализа изображений, а черные точки – результатам ситового анализа. Функция корреляции с результатами ситового анализа программного обеспечения CAMSIZER позволяет получить результаты, идентичные результатам ситового анализа. Это позволяет сохранить данные ситового анализа после смены системы.

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ И СТАТИЧЕСКОЕ РАССЕЙВАНИЕ ЛАЗЕРНАЯ ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Метод статического рассеивания лазерного света, также известный как лазерная дифракция, определяет размеры частиц опосредованно через распределение интенсивности лазерного света, отражаемого поверхностью частиц под разными углами. Это позволяет вычислить диапазон размеров частиц. **Методы лазерной дифракции основываются на допущении, что все частицы имеют сферическую форму, поэтому они не в состоянии отличить длину частиц от ширины.** Результатом часто становится более широкий диапазон размеров частиц по сравнению с другими методами анализа.

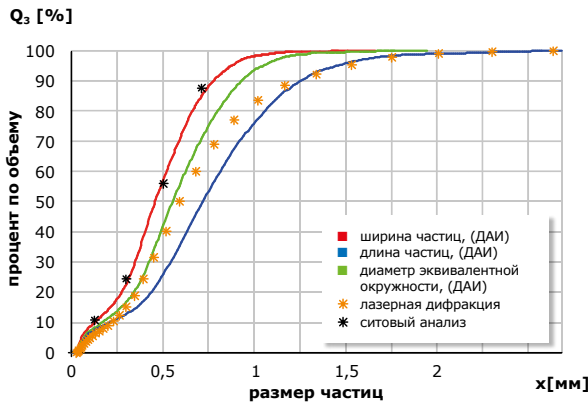


Рис. 2: Анализ проб кофе различными методами

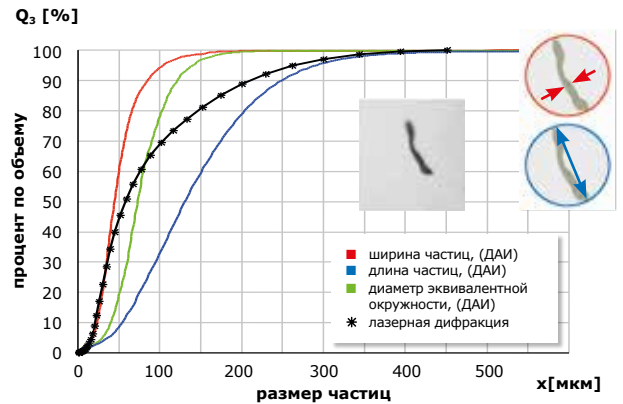


Рис. 3: Анализ волокон целлюлозы с помощью анализатора CAMSIZER XT (метод динамического анализа изображений) и лазерной дифракции

На рис. 2 показано сопоставление методов лазерной дифракции, динамического анализа изображений и ситового анализа на примере молотого кофе. Ситовый анализ дает самые точные результаты, и результаты измерения ширины частиц при помощи анализатора CAMSIZER® XT наиболее близки к ним. Результаты ситового анализа и лазерной дифракции несопоставимы; результаты лазерной дифракции приблизительно соответствуют размерной хагеа (диаметр эквивалентного круга). Все размеры, полученные при измерениях, считаются размерами частиц сферической формы. Таким образом, метод лазерной дифракции дает более широкий диапазон размеров по сравнению с динамическим анализом изображений.

Это особенно видно на рис. 3, который приводит сравнение измерений целлюлозных волокон. Если динамический анализ изображений позволяет определить разницу между толщиной и длиной волокон, то лазерная дифракция здесь бессильна. Кривая измерения для метода лазерной дифракции сначала параллельна результатам измерения ширины по методу динамического анализа изображений (красный цвет), а затем стремится к результатам для длины волокон (синий цвет). Динамический анализ изображений позволяет определять длину и ширину частиц независимо друг от друга.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ

В данной таблице приведены преимущества наиболее известных методов гранулометрического анализа частиц. Динамический анализ цифровых изображений превосходит другие методы во многих аспектах.

Характеристики	Динамический анализ изображений например, анализатор CAMSIZER®	Статический анализ изображений например, микроскоп	Лазерная дифракция например, анализатор Horiba LA-960	Ситовый анализ
Воспроизводимость и повторяемость	++	+	++	+
Высокая разрешающая способность при узком диапазоне размеров частиц	++	++	+	+
Измерение размеров частиц в широком диапазоне	++	+	+	+
Анализ формы частиц	++	++	○	○
Эффективное обнаружение частиц больших размеров	++	+	+	++
Скорость и время измерения	+	+	++	+
Анализ сложных смесей	++	+	+	+
Информация о составе (например, спектроскопия, РАМАНА и т. д.)	○	++	○	○
Вложения	высокие	высокие	высокие	низкие
Затраты на эксплуатацию (трудозатраты)	низкие	высокие	низкие	высокие

++ исключительно подходит   
 + подходит   
 + подходит с ограничениями   
 ○ не подходит

# RETSCH TECHNOLOGY

## Ведущий специалист в сфере гранулометрического анализа

Основной компетенцией компании Retsch Technology является сочетание инновационных методов гранулометрического анализа частиц с обеспечением максимального удобства работы.

Линейка оборудования для гранулометрического анализа позволяет работать с частицами классом крупности от 0,3 мкм до 30 мм. Использование различных методов измерения позволяет выполнять глубокий анализ размера и формы частиц суспензий, эмульсий, коллоидных растворов, порошков, гранулята и сыпучих материалов.

В сотрудничестве с нашим партнером компанией Retsch GmbH мы предлагаем широкий диапазон оборудования для пробоподготовки (размола, прободеления, ситового анализа).

Посетите наш сайт,  
где можно скачать  
информационные  
буклеты,  
отчеты об использо-  
вании и посмотреть  
видеоролики



## ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ КОНСУЛЬТАЦИИ И ДЕМОНСТРАЦИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОДУКЦИИ

Компания RETSCH TECHNOLOGY сотрудничает с международной сетью дистрибьюторов, которые готовы с радостью поделиться своим опытом и оказать поддержку. Компания с радостью готова продемонстрировать возможности своего оборудования, как в своей лаборатории, так и на территории заказчика. Для получения подробной информации обратитесь в наш отдел продаж.

**CARBOLITE**  
**IGERO** 30-3000°C

**CARBOLITE**

**ELTRA**

**Retsch**

**Retsch**  
TECHNOLOGY

**VERDER**  
scientific

Подразделение Вердер Сайнтифик являясь частью группы компаний Вердер (Verder) устанавливает стандарты в области разработки, производства и продаж лабораторного и аналитического оборудования. Оборудование компании находит широчайшее применение на производстве для контроля качества выпускаемой продукции, а также в научно-исследовательской работе при подготовке и анализе образцов твердых материалов.