



ТЕНЗИОМЕТРЫ, АНАЛИЗАТОР ПЕНЫ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КРАЕВОГО УГЛА



Компания KRUSS (Германия) является пионером в области исследования поверхностных явлений. История компании началась в 1796 году с оптических приборов для астрономии. Первый тензиометр был разработан в 1952г., а в 1976г. был выпущен первый цифровой тензиометр (K10), что положило начало новым стандартам в области измерения поверхностных свойств. Компания стремится модернизировать оборудование согласно времени, устанавливая новые стандарты.

Разработки фирмы KRUSS – это воплощение теории в практике: измерения, основанные на фундаментальной науке, дают возможность пользователям проникнуть в суть решаемой проблемы. На базе собственной лаборатории проводится большое количество исследований в самых разных отраслях, выходят научные статьи и обзоры, формируется база для новых приборов. Компания следит за публикациями статей, в которых описаны исследования с помощью оборудования KRUSS.

Ювелирная точность измерений с помощью приборов KRUSS увеличивается с годами и воплощается в приборах нового поколения. Компания следит за тенденциями времени: каждую весну в Гамбурге проходит тренинг с пользователями, на котором последних не столько знакомят с новым оборудованием, сколько пытаются найти новые решения их проблем. Благодаря двустороннему контакту оборудование KRUSS постоянно актуально.

Список решаемых задач велик, но ответ, как правило, находится благодаря изучению и последующему анализу поверхностных свойств: поверхностного и межфазного натяжения жидкостей; реологии поверхности растворов; смачиваемости поверхности волокон и порошков и т.п.

Сегодня, благодаря новейшим технологиям и тесному взаимодействию с пользователями, компания KRUSS добилась ведущих позиций на мировом рынке.

Взаимодействие между молекулами жидкости и газа, твердого тела или нерастворимой в ней другой жидкости приводит к образованию поверхности раздела фаз (межфазной поверхности). Капля жидкости на столе имеет три поверхности раздела: жидкость – газ, жидкость – поверхность, газ – поверхность; форма капли зависит от свойств всех трех фаз. Когда речь идет о системах жидкость – газ и жидкость – жидкость, то пользуются терминами «поверхностное натяжение» (ПН) и «межфазное натяжение» (МН). Сила поверхностного/межфазного натяжения действует по касательной к участку поверхности и пропорциональна длине контура этого участка (Н/м). Но более верно говорить об энергии, которую необходимо затратить, чтобы разорвать единицу поверхности (Дж/м²). Когда мы имеем дело с системами твердое тело – жидкость (газ), то мы используем термин «свободная энергия поверхности» (СЭП).

Измерение поверхностного и межфазного натяжения осуществляется с помощью тензиометров. Свободная энергия поверхности рассчитывается по величине контактного угла смачивания поверхности. Компания KRUSS GmbH выпускает современное оборудование для быстрого и качественного исследования материалов как в научных целях, так и для контроля качества в процессе производства.

Методы определения поверхностного натяжения делят на статические (для находящихся в термодинамическом равновесии систем) и динамические (связанные с разрушением/образованием поверхностного слоя). В ряде случаев равновесие достигается в течение нескольких часов, до установления равновесия поверхностное натяжение будет динамическим.

Методы измерений

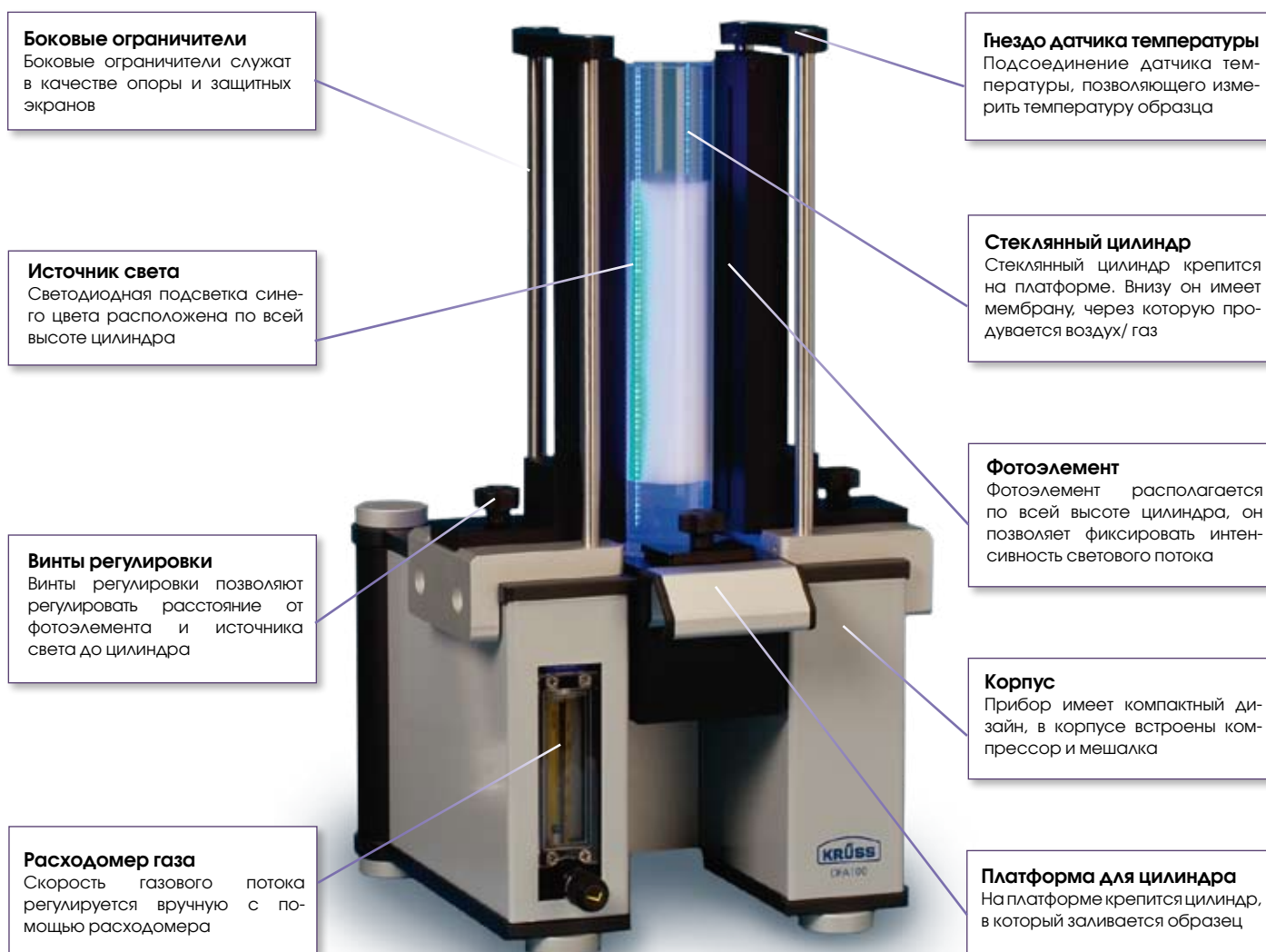
Жидкости			
	Метод отрыва кольца (метод дю Нуи)	Классический метод измерения ПН и МН. Результаты почти не зависят от смачивающих характеристик поверхности кольца. Измеряется величина максимального усилия, прикладываемого для отрыва кольца от жидкости	серия K
	Метод пластины (статический метод Вильгельми)	Универсальный метод, особенно подходит для измерения ПН в течение длительного промежутка времени. Измеряется усилие, возникающее в процессе смачивания пластины, подвешенной в вертикальном положении	серия K
	Метод вращающейся капли	Метод предназначен для измерения малых или сверхмалых значений межфазного натяжения. Измеряется диаметр капли жидкости, вращающейся в более тяжелой жидкости	SITE 100
	Метод висящей капли	Оптический метод, основанный на анализе изображения капли. Позволяет проводить измерения при повышенной температуре и давлении, а также изучать реологические свойства поверхности.	серия DSA
	Метод осциллирующей капли (ODM-метод)	Частный случай метода висящей капли, применяется для исследования вязкости и эластичности верхнего слоя жидкости, содержащей ПАВ. За счет изменения объема капли изменяются площадь и натяжение верхней пленки жидкости.	DSA30 DSA100
	Метод максимального давления в пузырьке (метод Ребиндера)	Метод позволяет сравнить активность разных ПАВ в растворах. В зависимости от скорости формирования пузырька (возраста поверхности) будет изменяться поверхностное натяжение.	серия BP
	Метод объема капли	Лучший метод для измерения динамического межфазного натяжения. Измеряют количество пузырьков, на которые разделяется жидкость, имеющая заранее определенный объем	DVT50
	Метод определения плотности	Определение плотности основано на архимедовых силах, действующих на образец, погруженный в жидкость. Применяется только для ньютоновских жидкостей.	серия K
Твёрдые тела			
	Метод лежащей капли	Оптическое определение краевого угла с целью установления характеристик смачивания на локальном участке поверхности твердого тела	серия DSA, GH
	Метод отражённого света	В методе отраженного света краевой угол рассчитывается на базе расстояния между двумя отраженными точками. Применяется для работы со сложными рельефными поверхностями, а также для измерения краевого угла в углублениях.	TVA100
	Динамический метод Вильгельми	Для определения краевого угла натекания/оттекания на твердых телах, имеющих определенную геометрическую форму	K100
	Метод Вильгельми с одиночным волокном	Измерение краевого угла смачивания одиночных волокон, нитей за счёт поднятия по капилляру.	K100
	Метод Вашбурна (смачиваемость порошков)	Анализ адсорбционных свойств порошков, на базе которых рассчитывается краевой угол. Измеряется величина привеса порошка как функция времени	K100
Пены			
	Метод продувки воздуха Метод перемешивания	Пену можно получить в результате продувки воздуха или газа через раствор, а также за счёт интенсивного перемешивания. В данном методе измеряется высота столба пены и жидкости во времени, определяется площадь пузырьков 2D.	DFA100



Пена встречается во многих технологических процессах либо как целевой, либо как нежелательный (побочный) продукт. В обоих случаях динамический анализатор пены DFA100 поможет изучить процесс пенообразования и принять меры по его снижению, увеличению или стабилизации. Запатентованная технология ориентирована на анализ скорости распада пены: определяется способность жидкости к пенообразованию, стабильность пены и ее распад.

Определенный объем раствора, содержащего поверхностно-активное вещество (ПАВ), наливается в стеклянную колонку (цилиндр), в которой происходит формирование пены за счёт продувки газа или перемешивания. Зачастую в технологическом процессе пена появляется именно таким образом. Для оценки влияния температуры на образование и разрушение пены можно использовать колонки с термостатируемой рубашкой. Высота столба жидкости регулируется с помощью рабочего объема или времени перемешивания/ продувки. Встроенный фотодетектор позволяет фиксировать снижение светового потока по мере увеличения пены и увеличение светового потока по мере распада пены. Контроль конца измерения производится по времени или по высоте пены.

Программное обеспечение отображает высоту столба пены, жидкости и общую высоту (пена + жидкость) в виде таблиц и диаграмм в режиме реального времени. Программа также выдает ключевые точки (характеристики): время распада, время распада при максимальной скорости (время перегиба кривой) и время полураспада. Кроме того, определяются точки по ключевым методам анализа: Росса-Майлса, NIBEM, R5/R10. Результаты измерений и графики можно сохранить в базе данных или выгрузить в файл. Впоследствии можно на одном графике отобразить кривые распада разных пен и сравнить их.



	DFA100
Скорость потока газа	0,2 ... 1,0 л/мин
Мин. объём образца	20 мл
Макс. высота измерения	200 мм
Разрешение	0,125 мм
Интерфейс	RS232
Потребляемая мощность	30 Вт
Габариты (Д x Ш x В)	245 x 275 x 460 мм
Вес	9 кг

Модуль определения жидкости в пене

Модуль представляет собой два электрода, которые замеряют электропроводность пены по высоте колонки в 7 точках. На основе этого можно определить содержание воды в пене даже для непрозрачных образцов типа нефтяных пен.

Модуль определения структуры пены

В инфракрасном свете с помощью видеокамеры снимается 2D-изображение пены. Далее программа рассчитывает их площадь пузырьков, их количество и строит кривую распределения.

Тензиометры процессорные K100



Процессорные тензиометры серии K100 имеют полностью автоматическое управление процедурой измерения с компьютера, пользователю надо будет только заменять образцы. Данные тензиометры позволяют измерять не только поверхностное/ межфазное натяжение жидкостей, но и краевой угол смачивания твёрдых образцов, плёнок, порошков и волокон. Тензиометры K100 поставляются с термостатируемой рубашкой, которая позволяет поддерживать температуру образца на заданном уровне за счёт циркуляции теплоносителя (термостат поставляется отдельно). Встроенный ионизатор снимает статическое электричество, которое может помешать измерению, особенно на тонких образцах типа фольги, плёнки, волокна.

Тензиометр K100 – универсальная модель для исследования и контроля качества. Модель K100C – бюджетный вариант без ионизатора, с ручной калибровкой весовой системы. Модель K100SF спроектирована для исследования волокон, волос, тканей, имеет ограничения по максимальному весу образца. Для многочисленного исследования волос была разработана специальная модель K100SF Autoloader с автоматическим заправщиком образцов.

Программное обеспечение позволяет задать исходные параметры измерения, а также провести измерение без участия оператора. Результаты измерений и графики можно сохранить в базе данных или выгрузить в файл. Программное обеспечение имеет модульную структуру: пользователь заказывает только то приложение, которое ему необходимо для работы: например, модуль для поверхностного натяжения и модуль критической концентрации мицеллообразования. Остальные приложения (модуль краевого угла, плотности, пенетрации и седиментации) можно всегда доустановить по мере необходимости.

Внесен в ГосРеестр СИ РФ



	K100C	K100	K100SF
Поверхностное и межфазное натяжение			
- диапазон	1...1000 мН/м	1...1000 мН/м	1...1000 мН/м
- разрешение	0,1 мН/м	0,01 мН/м	0,001 мН/м
Краевой угол смачивания			
- диапазон	5 ... 85°	5 ... 85°	5 ... 85°
- разрешение	0,1°	0,1°	0,1°
Макс.нагрузка на весы	120 г	210 г	3 г + 3 г
Калибровка	внешняя (ручная)	внутренняя (автомат)	внутренняя (автомат)
Рабочие температуры	-10...130°C	-10...130°C	-10...90°C
Ионизатор	-	+	+
Перемещение образца	110 мм (± 20 мкм)		
Скорость перемещения	0,09...500 мм/мин		
Интерфейс	RS232		
Габариты (Д x Ш x В)	390 x 300 x 585 мм		
Вес	24 кг		

Комплект для анализа порошков

Смачиваемость порошков определяют с помощью метода Вашбурна. Измеряется масса жидкости, поднявшейся по порошку, упакованному в трубку. Метод применим только, если жидкость смачивает порошок.

Комплект для анализа волокон

Смачиваемость волокон определяют методом Вильгельми, где в качестве пластины выступает цилиндрический образец (волокно).

Комплект для определения ККМ

Определение критической концентрации мицеллообразования (ККМ) можно проводить полностью в автоматическом режиме с помощью двух насосов, один из которых разбавляет образец, а другой откачивает лишнюю жидкость.

Тензиометр автоматический K11

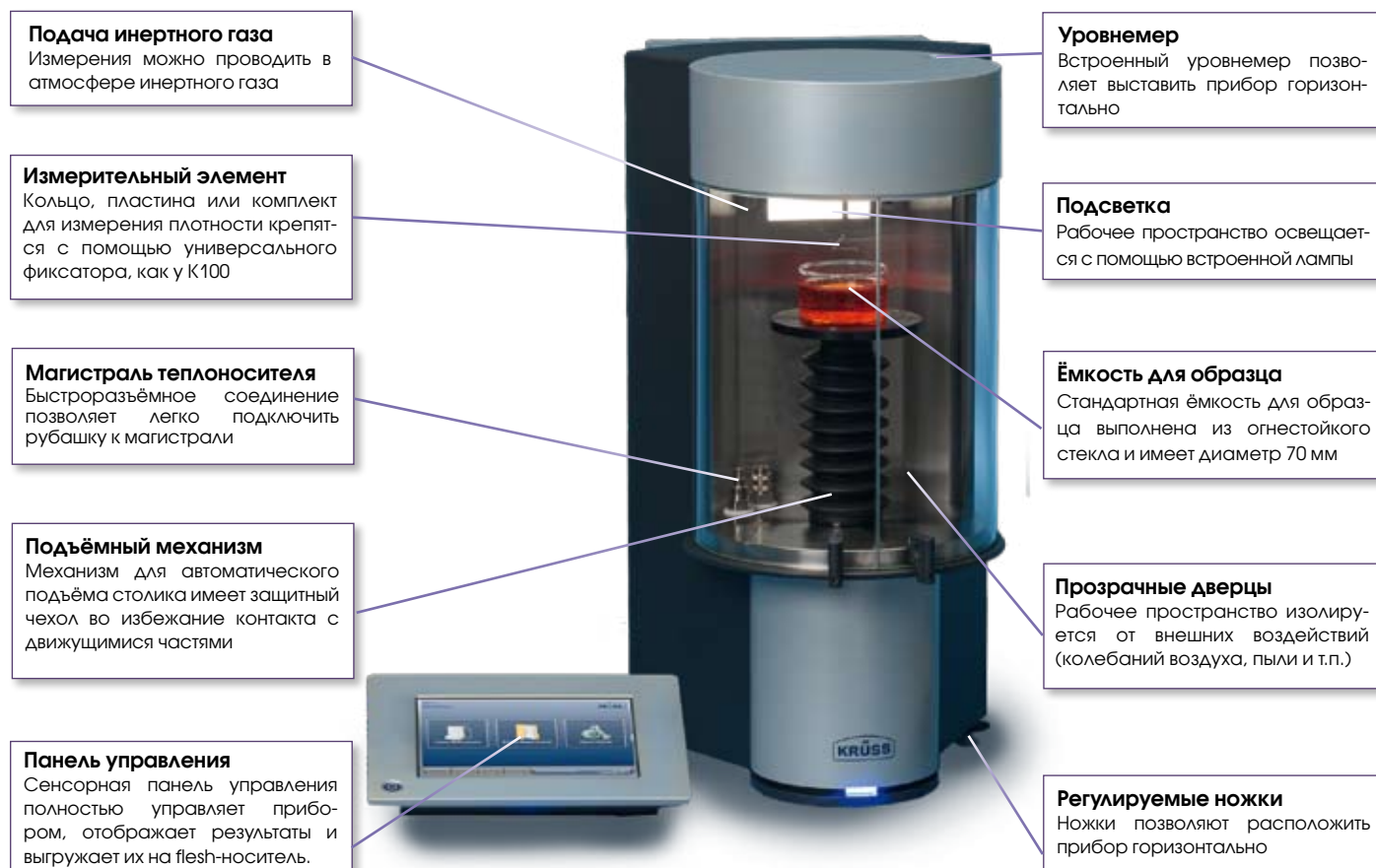


Автоматический тензиометр K11 – самодостаточная модель для проведения многочисленных измерений поверхностного и межфазного натяжения по методу кольца Дю Нуи или пластины Вильгельми. Установка параметров работы: метода измерения, скорости перемещения, высоты и скорости поднятия столика, осуществляется с помощью сенсорной панели управления. На большом графическом дисплее панели выводятся результаты измерений в виде таблиц и средних значений. Кроме того, результаты можно выгрузить через USB-порт на флеш-носитель в виде csv-файла и открыть на компьютере через Excel или другое приложение.

Тензиометр K11 имеет схожую конструкцию с тензиометрами K100, но может определять только поверхностное/межфазное натяжение и плотность жидкостей. Пользователь самостоятельно выбирает измерительные элементы: кольцо или пластину. Как и для тензиометров K100, данная модель имеет специальные малые кольца и ёмкости для работы с ограниченным количеством образца. Прибор поставляется с плоским столиком, который может быть заменён на термостатируемую рубашку (опция) для оценки влияния температуры на поверхностные свойства.

Благодаря эргономичному дизайну и компактности, тензиометр будет занимать немного места на лабораторном столе. Прозрачные полукруглые дверцы надёжно защищают внутреннее пространство от внешних раздражителей (потоков воздуха и колебаний температуры).

Внесен в ГосРеестр СИ РФ



	K11
Поверхностное и межфазное натяжение	
- диапазон	1...999 мН/м
- разрешение	0,1 мН/м
Плотность	
- диапазон	1 ... 2200 кг/м³
- разрешение	1 кг/м³
Макс.нагрузка на весы	50 г
Калибровка	внешняя (ручная)
Рабочие температуры (опция)	-20...150°C
Перемещение столика для образца	110 мм
Скорость перемещения столика	0,1 ... 500 мм/мин
Интерфейс	RS232
Габариты (Д x Ш x В)	300 x 585 x 390 мм
Вес	21 кг
Методы измерения:	
- отрыв кольца дю Нуи	+
- тонкая плёнка (кольцо дю Нуи)	+
- пластина Вильгельми	+
- стержень Ленгмюра	+
- плотность	+

Измерительные элементы

Для измерения поверхностного или межфазного натяжения необходимо кольцо или пластина. Пластина не требует внесения поправок и информации о плотности среды, но по методу кольца больше литературных (справочных) данных. Для малых объёмов имеются дополнительные элементы.

Термостатируемая рубашка

Для поддержания температуры образца используется рубашка, через которую циркулирует теплоноситель. Стандартная рубашка предназначена для ёмкостей диаметром 70 мм. Для сосудов меньшего диаметра используется специальный адаптер, для ёмкостей большего объёма надо заменять рубашку.

Датчик температуры

Датчик температуры позволяет измерять температуру образца во время измерения. Может использоваться как с плоским столиком, так и с термостатируемой рубашкой (опция).

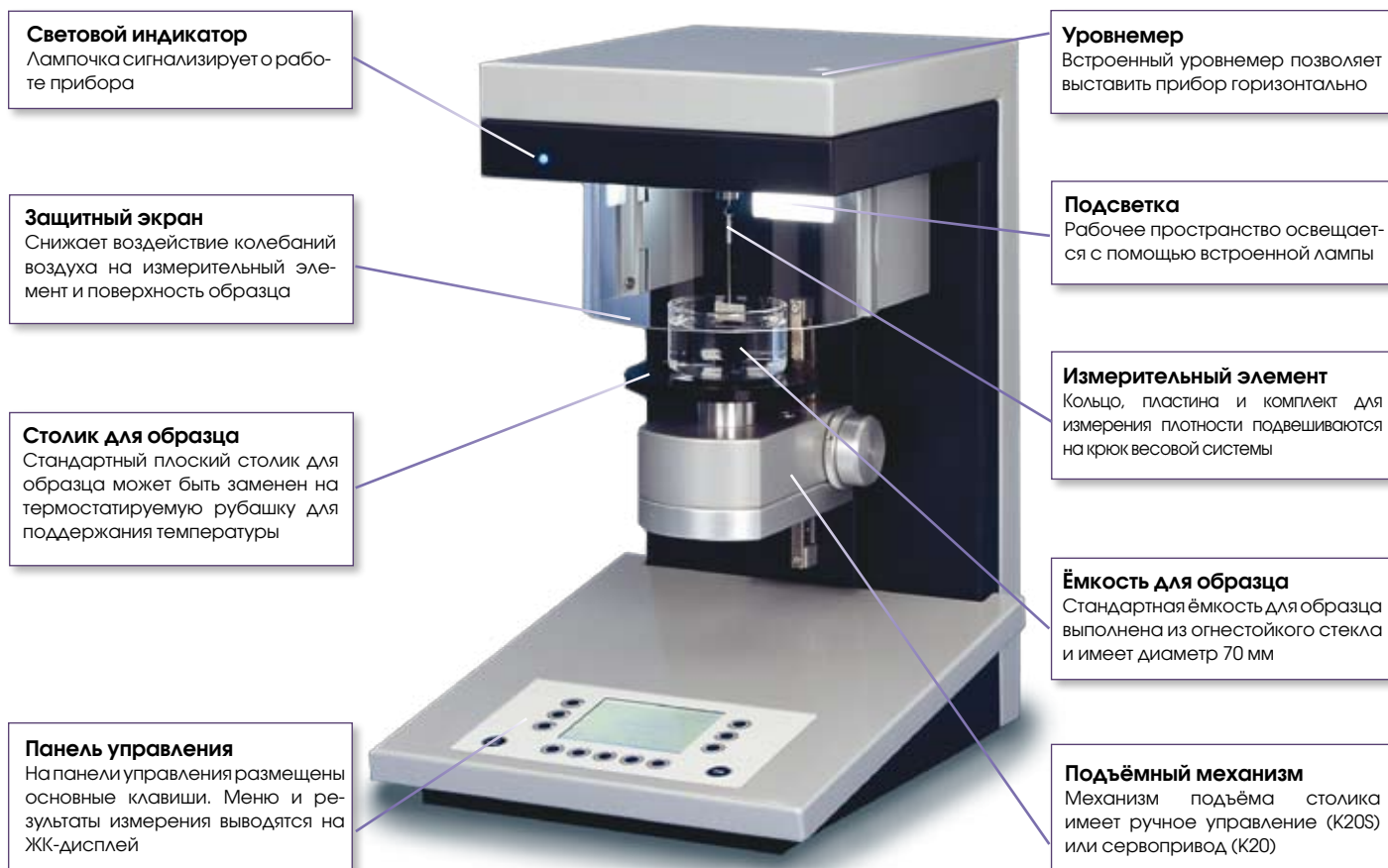
Тензиометры цифровые K20 / K20S



Цифровой тензиометр K20 имеет большой ЖК-дисплей и клавиши управления. Благодаря компактному дизайну, данная модель занимает мало места на рабочем столе и может использоваться для передвижных лабораторий, т.к. работает от аккумулятора несколько часов. Защитный экран предохраняет измерительный элемент и весовую систему от потоков воздуха, которые могут возникнуть в результате дыхания или сквозняка, и помешают измерению.

Приборы серии K20 имеют две разновидности: тензиометр с ручным перемещением столика K20S и тензиометр с сервоприводом K20. Обе модели работают по методу пластины и кольца. Благодаря сервоприводу, модель K20 может измерить поверхностное натяжение в тонкой плёнке до момента отрыва кольца от поверхности (стр.21), а при ручном перемещении столика можно работать только по методу отрыва кольца. Тензиометр K20 имеет память для сохранения измерений, а также расчёт статистических данных по нескольким измерениям (при плохой сходимости результатов прибор попросит переделать эксперимент). В методе пластины сервопривод позволяет в автоматическом режиме найти поверхность, а в методе кольца - провести само измерение без участия оператора, что снижает влияние человеческого фактора.

Внесен в ГосРеестр СИ РФ



	K20S	K20
Поверхностное и межфазное натяжение		
- диапазон	1...999 мН/м	1...999 мН/м
- разрешение	0,1 мН/м	0,1 мН/м
Плотность		
- диапазон	1 ... 2200 кг/м³	1 ... 2200 кг/м³
- разрешение	1 кг/м³	1 кг/м³
Макс.нагрузка на весы	50 г	50 г
Калибровка	внешняя (ручная)	внешняя (ручная)
Рабочие температуры (опция)	-10...+100°C	-10...+100°C
Перемещение столика для образца	75 мм	75 мм
Скорость перемещения столика	ручная	0,15 ... 15 мм/с
Память	-	+
Расчет статистики	-	+
Интерфейс	RS232	
Габариты (Д x Ш x В)	350 x 270 x 420 мм	
Вес	11 кг	
Методы измерения:		
- отрыв кольца дью Нуи	-	+
- тонкая плёнка (кольцо дью Нуи)	+	+
- пластина Вильгельми	+	+
- плотность	+	+

Измерительные элементы

Для измерения поверхностного или межфазного натяжения необходимо кольцо или пластина.

Комплект для измерения плотности

Измерение плотности основано на архимедовых силах, применяется только для ньютоновских жидкостей. В комплект входит силиконовый стандарт веса (погружаемое тело) и крючок.

Датчик температуры

Датчик температуры позволяет измерять температуру образца во время измерения. Может использоваться как с плоским столиком, так и с термостатируемой рубашкой (опция).

Термостатируемая рубашка

Для нагрева/охлаждения образца используется рубашка, через которую циркулирует теплоноситель.

Тензиометр механический К6

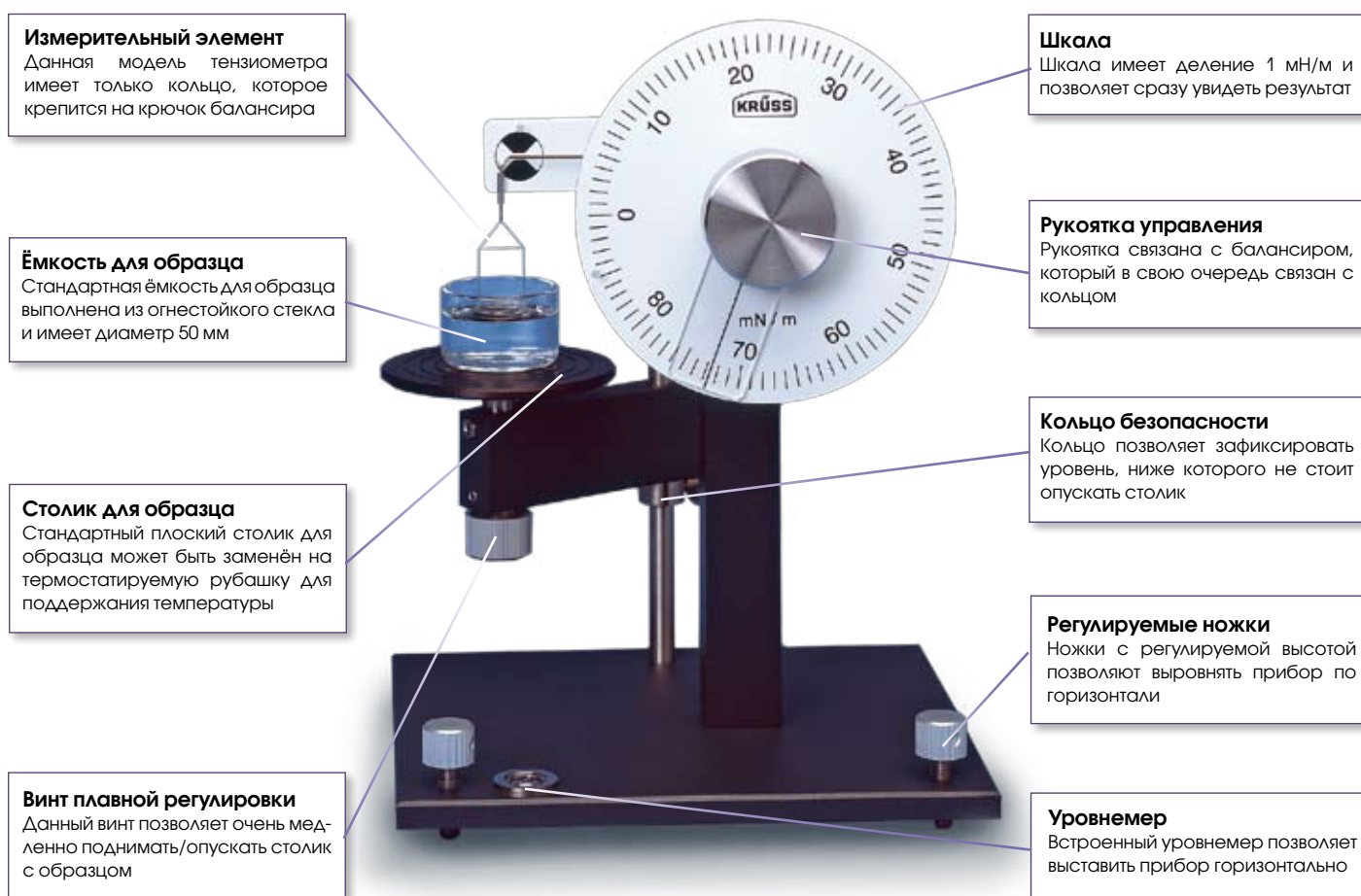


Самый простой прибор для измерения поверхностного и межфазного натяжения, прародитель последующих моделей. Работает только по методу отрыва кольца, позволяет зафиксировать силу в момент разрыва плёнки.

Прибор имеет шкалу делений от 0 до 90 мН/м, значение определяется на глаз. Все операции производятся вручную. Поставляется с плоским столиком, который может быть заменён на термостатируемую рубашку. Поставляется в комплекте с кольцом. Для выравнивания деформированного кольца можно использовать специальный комплект ТОО1 (опция).

Ввиду простоты конструкции не рекомендуется измерять межфазное натяжение, которое имеет довольно низкое значение, т.к. велика ошибка. Может использоваться для контроля качества (где не важна высокая точность), а также в обучающих целях.

Внесен в ГосРеестр СИ РФ



	К6
Поверхностное и межфазное натяжение	
- диапазон	1...90 мН/м
- разрешение	1,0 мН/м
Плотность	-
Калибровка	по воде
Рабочие температуры (опция)	10 ... 90°C
Перемещение столика	ручное
Интерфейс	RS232
Габариты (Д x Ш x В)	300 x 300 x 350 мм
Вес	4 кг
Методы измерения:	
- отрыв кольца дью Нуи	+
- тонкая плёнка (кольцо дью Нуи)	-
- пластина Вильгельми	-
- плотность	-

Ёмкости для образцов

Рекомендуется иметь несколько емкостей под разные группы жидкостей, чтобы исключить загрязнение. Стандартные ёмкости имеют диаметр 70 мм, чтобы избежать влияния стенок на измерение (мениск). Имеются также сосуды диаметром 50 мм.

Комплект для выравнивания кольца

Комплект включает столик, на котором выравнивается плоскость кольца. С помощью специальной втулки правится окружность





Тензиометры серии BP позволяют определять динамическое поверхностное натяжение по методу максимального давления в пузырьке. Тензиометр BP100 разработан специально для исследования динамики протекания процессов, в которых важна активность поверхностно-активных веществ (ПАВ) и добавок. Чем активнее ПАВ, тем быстрее снижается поверхностное натяжение по мере формирования пузырька.

Прибор имеет эргономичный дизайн, основные элементы убраны в корпус. Для управления механикой (мешалкой, столиком, компрессором) применяется внешняя панель. Тензиометр BP100 поставляется в комплекте с термостатируемой рубашкой.

Встроенный компрессор даёт возможность формировать пузырёк (новую поверхность) с разной скоростью, что позволяет оценить активность разных ПАВ. Благодаря специальной геометрии и гидрофобности кончика капилляров пузырьки формируются правильной сферической формы, что сводит ошибку измерения к минимуму. Для работы с агрессивными или трудноотмываемыми жидкостями можно использовать специальные тефлоновые капилляры.

Программное обеспечение позволяет наблюдать за результатами в режиме реального времени, которые отображаются в виде графиков и таблиц. На одной диаграмме можно вывести результаты нескольких измерений, например, для сравнения разных ПАВ или для оценки влияния концентрации ПАВ на скорость снижения поверхностного натяжения.



	BP100
Поверхностное и межфазное натяжение	
- диапазон	10...100 мН/м
- разрешение	0,01 мН/м
Возраст поверхности	5 мсек ... 100 сек
Рабочие температуры	-10 ... +100°C
Потребляемая мощность	30 Вт
Интерфейс	RS232
Габариты (Д x Ш x В)	300 x 320 x 540 мм
Вес	15 кг
Методы измерения:	
- метод максимального давления в пузырьке	+
- определение возраста поверхности	+
- расчёт коэффициента адсорбции	+
- расчёт равновесного значения по уравнению Хуа&Розена	+

Капилляры

В зависимости от свойств исходной жидкости можно использовать стеклянные капилляры разного диаметра с гидрофобным покрытием, которое предотвращает попадание жидкости внутрь капилляра. Для работы с дисперсиями и лаками имеются одноразовые тефлоновые капилляры.

Ёмкости для образцов

Рекомендуется иметь несколько емкостей под разные группы жидкостей, чтобы исключить загрязнение. Кроме стеклянных сосудов имеются ёмкости из PTFE для агрессивных сред.

Тензиометр BP50



Портативный тензиометр BP50 был разработан для контроля концентрации поверхностно-активных веществ (ПАВ) в моющих растворах или в гальванических ваннах. Этот компактный тензиометр может работать от встроенного аккумулятора в паре с ноутбуком, на котором установлена программа, что позволяет использовать данный прибор в «полевых» условиях.

ПАВ изменяют поверхностное натяжение растворов. В определенный момент добавление ПАВ в систему не приводит к изменению поверхностного натяжения, их становится настолько много, что им «не хватает поверхности» и они образуют мицеллы в объеме раствора (см. стр. 22) – это так называемая критическая концентрация мицеллообразования (ККМ). Статические методы анализа (метод кольца/пластины) не могут оценить поведение системы при концентрации выше ККМ, в отличие от метода давления в пузырьке. Данный метод также позволяет сравнить активность разных по природе поверхностно-активных веществ.

Тензиометр BP50 незаменим для контроля качества растворов в быстропротекающих процессах, таких как печать, распыление или нанесение покрытий. В таких процессах ПАВ должны за минимальное время дойти из объема до поверхности наносимой жидкости и снизить её поверхностное натяжение до требуемого уровня, что позволит им более надежно «зацепиться» за обрабатываемую поверхность (бумагу, лист растения, слизистую и т.п.). Данный прибор с помощью метода максимального давления в пузырьке позволяет определить изменение поверхностного натяжения с момента начала формирования пузырька до возраста поверхности в 1,5 сек.

Измерительная система состоит из капилляра, источника воздуха (встроенного компрессора), датчика давления и датчика температуры. Одноразовые пластиковые капилляры позволили отказаться от гидрофобизации поверхности стеклянных капилляров. Результаты измерений не зависят от глубины погружения капилляра; в качестве ёмкости можно использовать как лабораторный стакан, так и нефтяной танкер. Для калибровки прибора при разных температурах можно использовать воду или растворители. Тензиометр контролируется программным обеспечением LabDesk, которое строит графики изменения поверхностного натяжения во времени, рассчитывает наклон кривой при постоянном времени жизни пузырька. Отчёты можно распечатать или сохранить в базу данных.

Датчик температуры

Встроенный датчик измеряет температуру жидкости рядом с капилляром и передаёт данные на компьютер

Клавиши управления

Клавиши позволяют включать и выключать прибор, увеличивать и снижать скорость образования пузырька

Штатив (опция)

Настольный штатив для крепления прибора во время длительных измерений

Ёмкость

Прибор может работать с любой ёмкостью для образца от стакана до нефтяного танкера.

Капилляр

Прибор работает с одноразовыми тефлоновыми капиллярами.



	BP50
Поверхностное и межфазное натяжение	
- диапазон	10 ... 99 мН/м
- разрешение	0,1 мН/м
Возраст поверхности	15 мсек ... 1,5 сек
Частота формирования пузырька	1 ... 10,5 Гц
Рабочие температуры (опция)	0 ... 100°C
Память	25 измерений
Время работы от батарей	12 часов
Потребляемая мощность	0,3 Вт
Интерфейс	RS232
Габариты (Д x Ш x В)	62 x 35 x 280 мм
Вес	0,33 кг
Методы измерения:	
- метод максимального давления в пузырьке	+
- определение возраста поверхности	+

Капилляры

Одноразовые пластиковые капилляры имеют коническую форму. Очень острый кончик предотвращает проникновение раствора внутрь, а пузырек с него легко отрывается. Поставляются упаковками по 96 шт.

Ёмкости для образцов

Рекомендуется иметь несколько емкостей для измерения под разные группы жидкостей, чтобы исключить загрязнение. Стандартные ёмкости имеют диаметр 70 мм, чтобы избежать влияния стенок на измерение (мениск).

Штатив

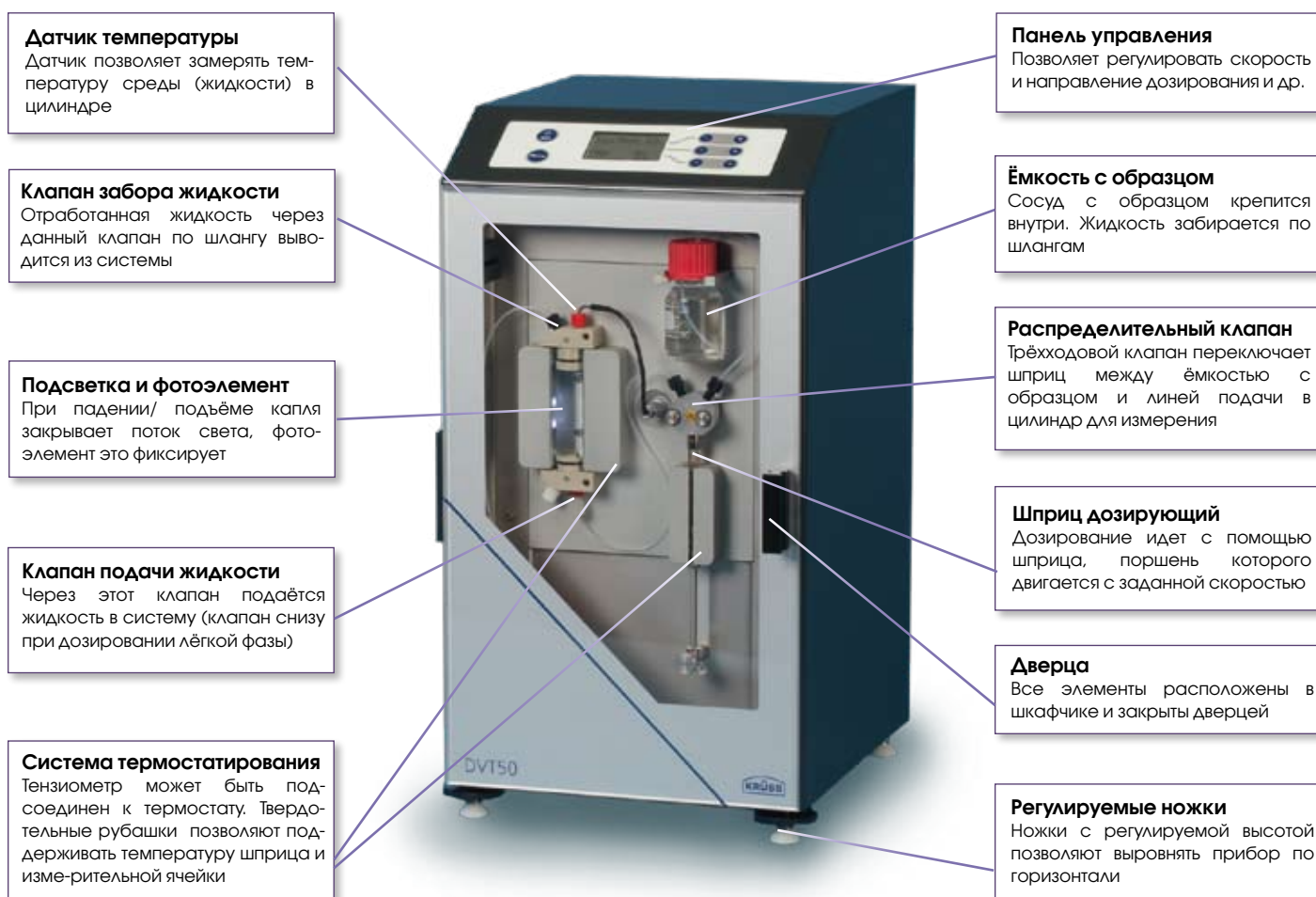
Чтобы не держать тензиометр в руках во время длительных измерений, рекомендуется использовать настольный штатив.



Для таких процессов, как перекачивание или перемешивание водно-масляной эмульсии, важно учитывать скорость образования межфазной поверхности, особенно, если процесс формирования новой поверхности длительный. Наличие в жидкости ПАВ или других активных соединений приводит к изменению поверхностного/ межфазного натяжения по мере формирования поверхности и, следовательно, к изменению свойств системы.

Тензиометр DVT50 измеряет динамическое межфазное натяжение как функцию от возраста поверхности, что, в свою очередь, даёт важную информацию о кинетике адсорбции и поверхностно-активных свойств жидкостей. В основе измерения лежит дозирование жидкости с разной скоростью и фиксирование количества капель, на которые разделилась жидкость (метод счёта капель). Измерение осуществляется дозированием одной жидкости в другую; дозировать можно как лёгкую фазу в тяжёлую (снизу), так и тяжёлую фазу - в лёгкую (сверху). Варьируя скорость образования капель можно получить зависимость поверхностного натяжения от возраста поверхности (времени).

Данный тензиометр имеет специальный цилиндр со светочувствительным детектором, который позволяет фиксировать капли. Жидкость в цилиндр подается по шлангам с помощью шприца с автоматической подачей. Настройки работы прибора осуществляются с панели на самом тензиометре, а результаты измерения передаются в программу.



	DVT50
Поверхностное и межфазное натяжение	
- диапазон	0,1 ... 100 мН/м
- разрешение	0,001 мН/м
Возраст поверхности	0,1 ... 10 000 сек
Рабочие температуры	-10 ... +90°C
Перемещение шприца	0,3 ... 1380 мл/мин
Автоматическое наполнение шприца	+
Потребляемая мощность	10 Вт
Интерфейс	RS232
Габариты (Д x Ш x В)	280 x 240 x 455 мм
Вес	13 кг
Методы измерения:	
- метод счёта падающих капель	+
- метод счёта поднимающихся капель	+

Капилляры

Для суспензий имеются специальные толстые капилляры. Чем меньше ожидаемое поверхностное натяжение, тем тоньше должен быть капилляр. Межфазное натяжение, как правило, имеет очень низкие значения, поэтому для них применяются тонкие капилляры.

Дозирующий шприц

Диаметр шприца влияет на результат: чем больше диаметр, тем выше скорость дозирования, но меньше точность измерения. Для измерения очень низкого межфазного натяжения используются шприцы с небольшим диаметром (объемом).

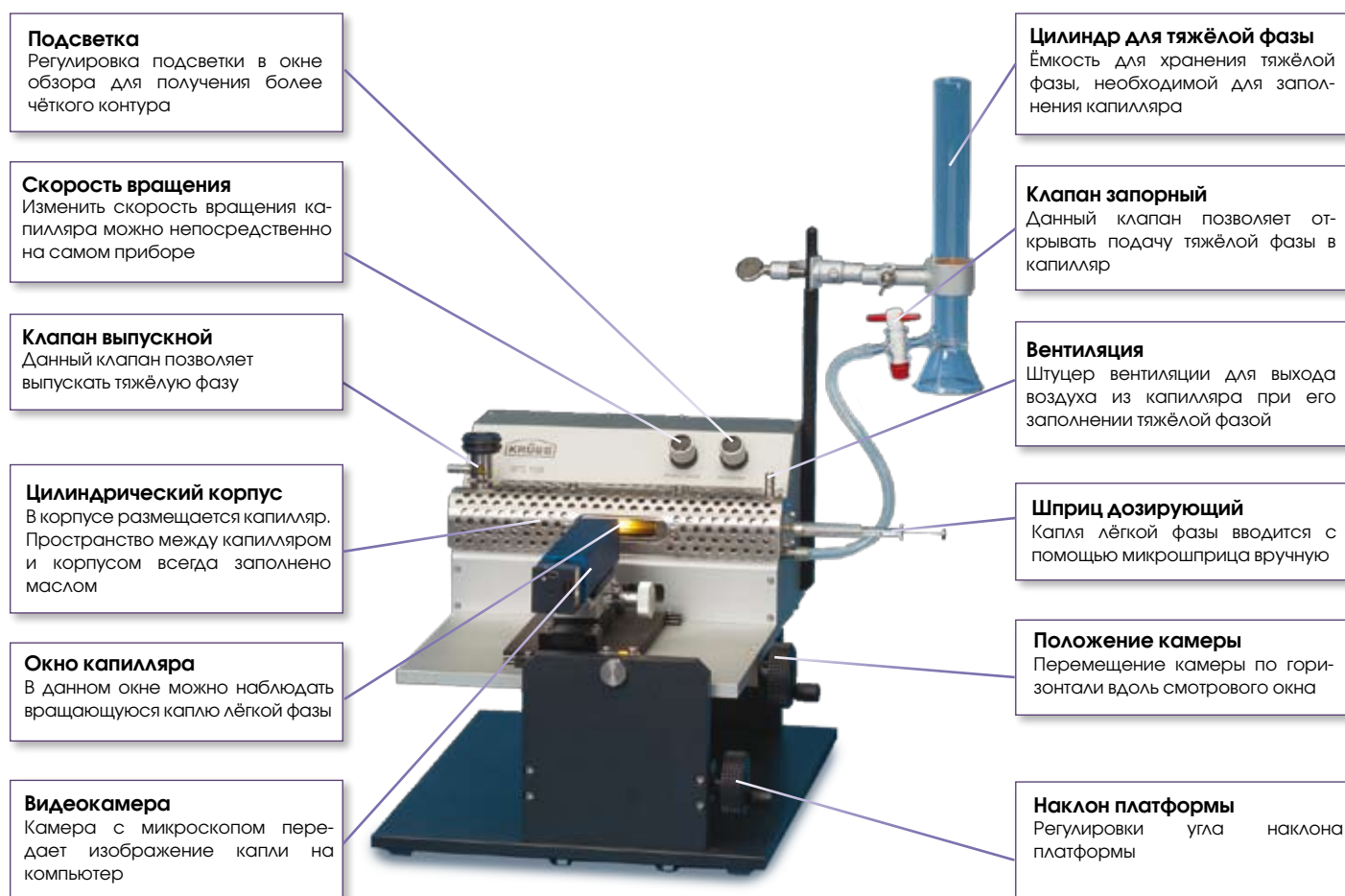
Тензиометр SITE100



Метод вращающейся капли (оптический метод) был разработан для измерения очень низкого межфазного натяжения: 0,000001 мН/м, что характерно для органических систем, в частности нефтепродуктов. Прибор имеет видеокамеру, которая непрерывно передаёт изображение капли программному обеспечению, таким образом, производится полный анализ эллиптической формы капли. Скорость вращения капилляра, яркость подсветки капли, расстояние между капилляром и видеокамерой, угол наклона платформы, на которой крепится система, можно регулировать вручную или с помощью программы.

Тензиометр SITE100 имеет цилиндрический корпус, в котором размещается вращающийся капилляр. Пространство между корпусом и капилляром заполняется силиконовым маслом, циркулирующим через внешний термостат (опция), что позволяет изучить влияние температуры на межфазное натяжение. Вращающийся капилляр заполняется тяжёлой фазой, например, раствором солевой пластовой воды. Лёгкая фаза (например, капля нефти) вводится в центр капилляра, напротив смотрового окна, с помощью шприца с длинной иглой. При вращении капля вытягивается вдоль оси вращения: чем выше скорость вращения капилляра, тем сильнее вытягивается капля, а её радиус уменьшается. Радиус капли пропорционален межфазному натяжению (см. стр. 23).

Программное обеспечение контролирует яркость, скорость вращения капилляра, рассчитывает статическое межфазное натяжение, а также изменение его во времени за счёт проникновения ПАВ из тяжёлой фазы в каплю, отображает текущую температуру образца. Также в окне программы можно увидеть каплю в окружении тяжёлой фазы. Результаты измерений отображаются в окне программы, их также можно сохранить в базу данных или импортировать в виде Excel-файла.



	SITE100
Межфазное натяжение - диапазон - разрешение	0,000001 ... 50 мН/м 0,000001 мН/м
Скорость вращения	15 000 об/мин 20 000 об/мин (опционально)
Диаметр капилляра	3,5 мм
Рабочие температуры	0 ... +100°C
Габариты (Д x Ш x В)	300 x 450 x 300 мм
Вес	15 кг
Методы измерения - метод вращающейся капли	+

Шприцы

Жидкость вводится во вращающийся капилляр с помощью шприца. Шприц может иметь разный объём. Для размещения капли в поле зрения видеокамеры используется специальная длинная игла.

Мембраны

Трёхслойные мембраны, через которые вводится игла со временем изнашиваются.

Прибор для измерения краевого угла DSA100

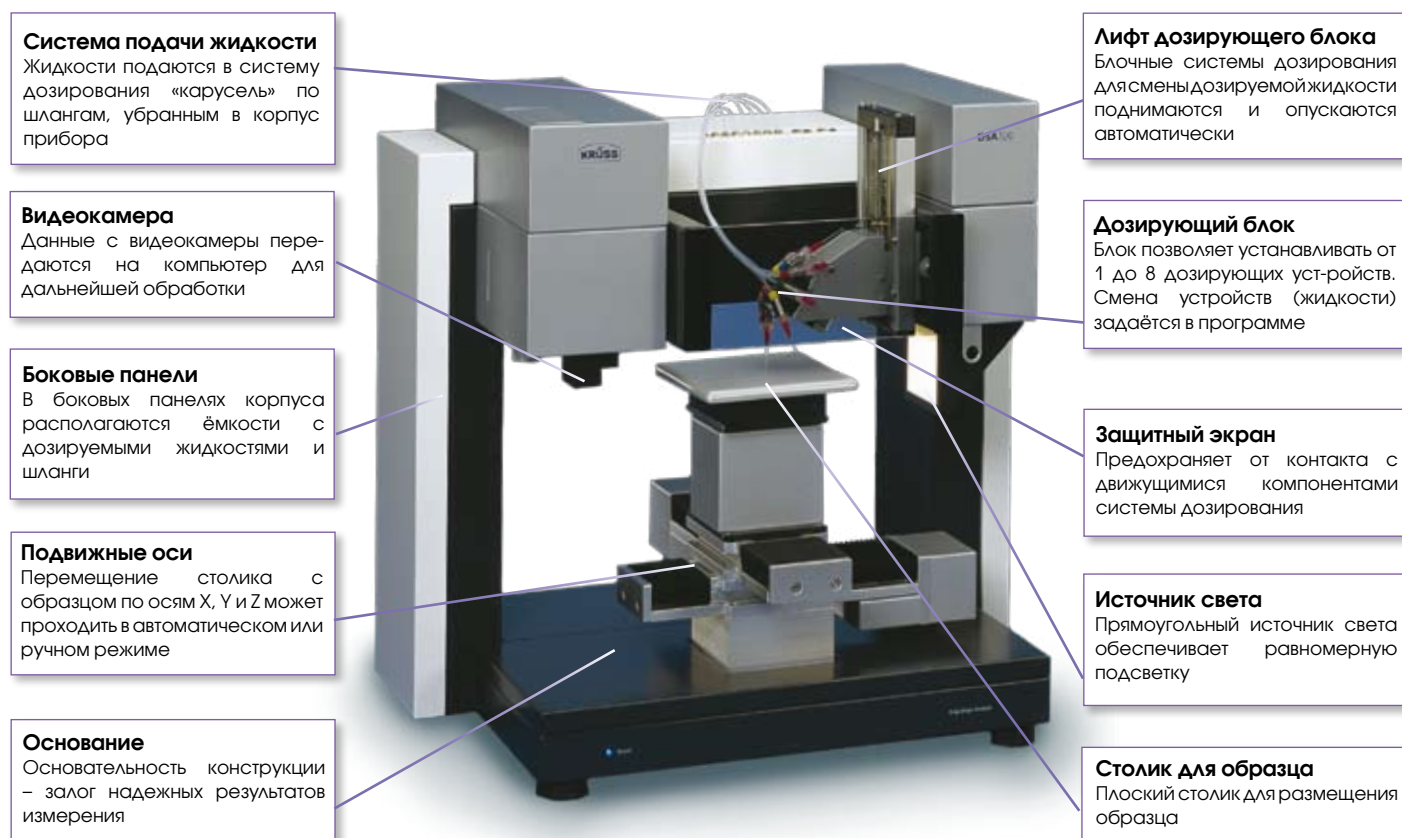


Многофункциональный модульный прибор DSA100 – профессиональное решение для исследования поверхностей. Шприцы, шланги и ёмкости для жидкостей скрыты за боковыми дверцами. Видеокамера позволяет снять изображение капли и передать ее на компьютер, далее уже программа производит расчёт и анализ. Стандартная видеокамера может быть заменена на специальные высокоскоростные модели, если жидкость быстро испаряется, растекается или впитывается в поверхность. Источник света имеет прямоугольную форму, что снижает блики и улучшает качество изображения. Интенсивность света регулируется программой. Управление приборами DSA производится через программное обеспечение.

Дозирующая система закрыта защитным прозрачным экраном из плексигласа, чтобы избежать как поломки самой системы, так и обезопасить оператора. На приборе может быть установлена ручная система дозирования, автоматическая система дозирования или «карусель». Карусель позволяет закрепить до 8 игл, в которые жидкость подаётся по шлангам, что даёт возможность снять энергетическую карту поверхности, т.е. измерить смачиваемость поверхности разными жидкостями в одних и тех же точках по заданному шаблону. Если в качестве дозируемых жидкостей используются цветные, вязкие или клейкие вещества, то лучше использовать систему ручного дозирования и одноразовые пластиковые шприцы. Для работы с микрообъектами имеется система микро-дозирования (объём дозирования 50 пкл).

Система DSA100 имеет различные столики для образцов, которые могут управляться вручную или с помощью программы. Оси, управляемые программой, позволяют полностью автоматизировать процесс измерения, в том числе построить энергетическую карту поверхности по заданному шаблону. Для исследования стекающих капель прибор DSA100 можно установить на наклонное основание, которое наклоняет прибор целиком, или установить малый наклонный столик.

Базовая комплектация систем DSA100S, DSA100B, DSA100E может быть дополнена или изменена с помощью стандартных опций. Кроме того, имеются дополнительные модификации DSA100 для решения специфических задач (см. ниже). Для исследования под избыточным давлением прибор подсоединяется к камере высокого давления (до 700 бар). Для изучения межфазной реологии поставляется модуль EDM/ODM.



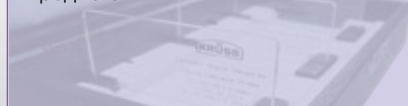
	DSA100
Краевой угол	
- диапазон	1 ... 180°
- разрешение	± 0,1°
Межфазное натяжение (опция)	
- диапазон	0,01 ... 1000 мН/м
- разрешение	0,01 мН/м
Макс. размер образца	300 x ∞ x 150 мм
Рабочие температуры (опция)	-60 ... +400°C
Габариты (Д x Ш x В)	380 x 620 x 610 мм
Вес	25 ... 45 кг
Методы измерения:	
- метод лежащей капли (краевой угол)	+
- метод висящей капли (поверхностное натяжение)	+
- расчёт свободной энергии поверхности (8 методов)	+
- метод отражённого света	+
- ODM/EDM-реология	+

Оси координат и столики

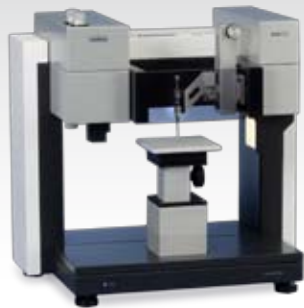
Оси координат, управляемые программой, позволяют проводить измерения в автоматическом режиме без участия оператора. Траектория перемещения задается с помощью программы. Имеются столики с ручным перемещением по горизонтали и/или вертикали при помощи рукоятки, а также столики с регулировкой только высоты.

Держатели образцов

Имеются специальные держатели для фольги, бумаги, пленки и порошков, волокон, а также для контактных линз, пробок и цилиндрических предметов.



Модификации DSA100



DSA100B

Модификация DSA100B укомплектована самой простой ручной системой дозирования, стационарным столиком с ручной установкой высоты столика (оси Y) и одним программным обеспечением для измерения краевого угла. Все остальные опции заказываются дополнительно.

DSA100S

Модификация DSA100S имеет систему дозирования одной жидкости, управляемую программой. Столик можно перемещать по осям X, Y и Z вручную, с помощью маховиков. Прибор может не только измерять краевые углы, но и рассчитывать свободную энергию поверхности по результатам измерения.



DSA100E

Модификация DSA100E применяется для большого количества измерений в профессиональных лабораториях. Прибор позволяет проводить измерения в полностью автоматическом режиме по заданной программе. DSA100E комплектуется блочной системой дозирования (на 5 жидкостей), осями координат с автоматическим управлением и 3-мя модулями программного обеспечения.



DSA100R

Прибор для изучения поверхностной реологии (вязкостно-упругих свойств жидкости). В основе измерения лежит метод висящей капли. С помощью специальной мембраны создается увеличение и сокращение поверхности капли (колебания), на основе которых можно рассчитать модули упругости E' и E'' .

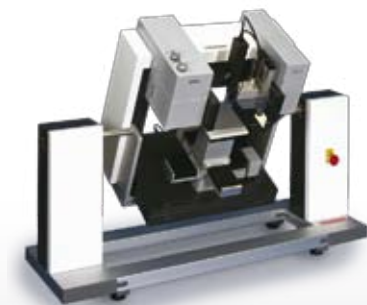


DSA100M

Для исследования микроскопических капель (порядка 50-100 пл) DSA100 оснащают специальной системой микродозирования (вязкость дозируемой жидкости не должна превышать 5 мПа*с). При дозировании получаются очень мелкие капли, след от которых едва заметен невооруженным глазом. В модификации DSA100M используется специальная подсветка и видеокамера. Для удобства позиционирования образца предлагается дополнительная система микро-осей.

DSA100W

Прибор для измерения краевого угла с круглым столиком был специально спроектирован для анализа плоских и круглых образцов, например, силиконовых пластин. С помощью программы построения карты поверхности можно полностью исследовать образец диаметром до 12" в автоматическом режиме.

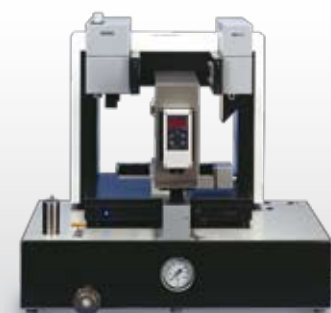


DSA100 tilting table

Установка DSA100 имеет специальное наклонное основание, которое позволяет измерять капли, стекающие по поверхности. Данная конструкция позволяет наклонить не только столик, но и видеокамеру, за счёт чего капля на изображении всегда остается горизонтальной.

DSA100 high pressure

Краевой угол смачивания (метод лежащей капли), а также поверхностное натяжение (метод висящей капли) можно измерять при повышенном давлении и температуре. Это особенно важно для исследования процессов, протекающих в горных породах.



Прибор для измерения краевого угла DSA30



Модель DSA30 сочетает в себе функциональность DSA100 и простоту DSA25. Прибор может комплектоваться ручной или автоматической системой дозирования, а также системой «карусель» (4 шприца-иглы + 1 ручной шприц) с компактным защитным экраном. Шприцы, шланги и ёмкости с жидкостями имеют прямой доступ и требуют бережного обращения.

Как во всех оптических приборах DSA, видеокамера снимает изображение капли и передает её на компьютер, далее программа производит расчёт и анализ. Стандартная видеокамера может быть заменена на специальные высокоскоростные модели, если жидкость быстро испаряется, растекается или впитывается в поверхность. Система DSA30 имеет 3 базовые комплектации (Basic, Standard, Expert), отличающиеся системой дозирования, осями координат и количеством модулей программы. Любую модификацию можно преобразовать под специфические задачи с помощью дополнительных элементов (опций).

На приборе устанавливается ручная или автоматическая система дозирования, либо «карусель». «Карусель» позволяет закрепить до 4 игл, в которые жидкость подается по шлангам. Если в качестве дозируемых жидкостей используются цветные, вязкие или клейкие вещества, то лучше использовать систему ручного дозирования и одноразовые пластиковые шприцы.

Система DSA30 имеет столики, перемещаемые по осям координат вручную или с помощью программы. Оси, управляемые программой, позволяют полностью автоматизировать процесс измерения, в том числе построить энергетическую карту поверхности. Программа для построения карты поставляется в комплекте с автоматическими осями и программой DSA30.

Особенностью приборов DSA30 является возможность проводить измерения при температурах от -60 до $+400^{\circ}\text{C}$ при работе с дополнительными камерами. Имеются камеры для поддержания температуры, влажности или инертной атмосферы. DSA30 имеет модуль для изучения поверхностной реологии (ODM/EDM) висящей капли. На основании DSA30 может устанавливаться система TVA для измерения краевого угла в углублениях на основе отраженного света.

Система подачи жидкости
Жидкости подаются в систему дозирования по шлангам

Дозирующий блок
Блок позволяет устанавливать от 1 до 4 дозирующих устройств. Смена устройств (жидкости) происходит автоматически

Источник света
Поток света можно регулировать с помощью специальной шторки, что важно для малых капель

Подвижные оси
Перемещение столика с образцом по осям X, Y и Z может проходить в автоматическом или ручном режиме

Основание
Прибор установлен на компактной устойчивой основе

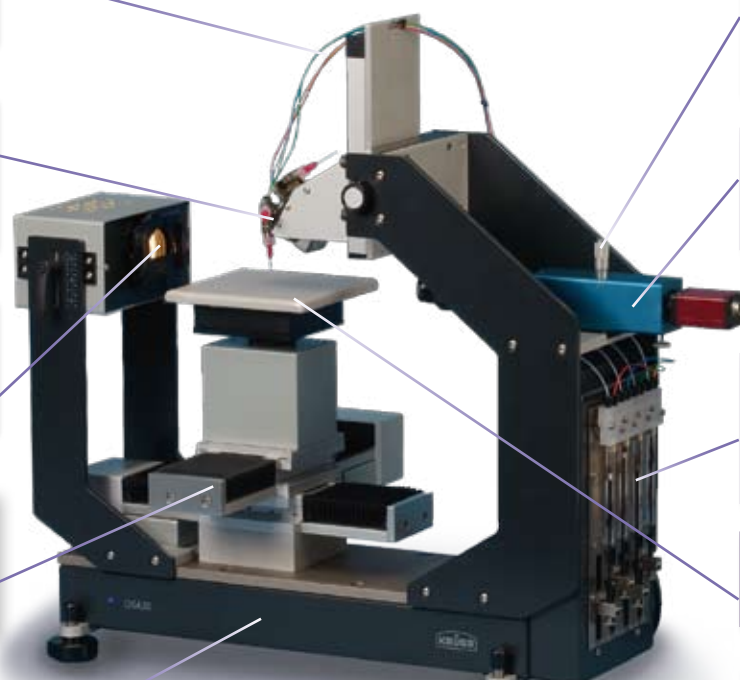
Регулировка наклона камеры
Для разных методов (лежащая/висящая капля) видеокамера должна располагаться под разным углом наклона

Видеокамера
Данные с видеокамеры передаются на компьютер для дальнейшей обработки

Дозирующие шприцы
На данной панели размещаются шприцы, которые автоматически наполняются тестовыми жидкостями и дозируют капли

Столик для образца
Плоский столик для размещения образца

Регулируемые ножки
Ножки с регулируемой высотой позволяют выровнять прибор по горизонтали



	DSA30B	DSA30S	DSA30E
Краевой угол			
- диапазон	1 ... 180°		
- разрешение	$\pm 0,1^{\circ}$		
Межфазное натяжение			
- диапазон	0,01 ... 1000 мН/м		
- разрешение	0,01 мН/м		
Макс. размер образца	300 x ∞ x 150 мм		
Рабочие температуры (опция)	-60 ... $+400^{\circ}\text{C}$		
Габариты (Д x Ш x В)	660 x 240 x 610 мм		
Вес	25 кг		
Методы измерения:			
- лежащая капля	+	+	+
- висящая капля	опция	опция	+
- расчёт поверхностной энергии (8 методов)	опция	+	+
- метод отражённого света	опция	опция	опция
- ODM/EDM-реология	опция	опция	опция

Системы дозирования

Приборы поставляются с автоматической или ручной системой дозирования для стеклянных или пластиковых шприцов, а также с каруселью. Карусель подает жидкость на иглу по шлангу с помощью шприцевого насоса. Данная система дозирования незаменима для построения энергетической карты поверхности. Для дозирования расплавов (до 400°C) имеется высокотемпературная система дозирования.



Прибор для измерения краевого угла DSA25



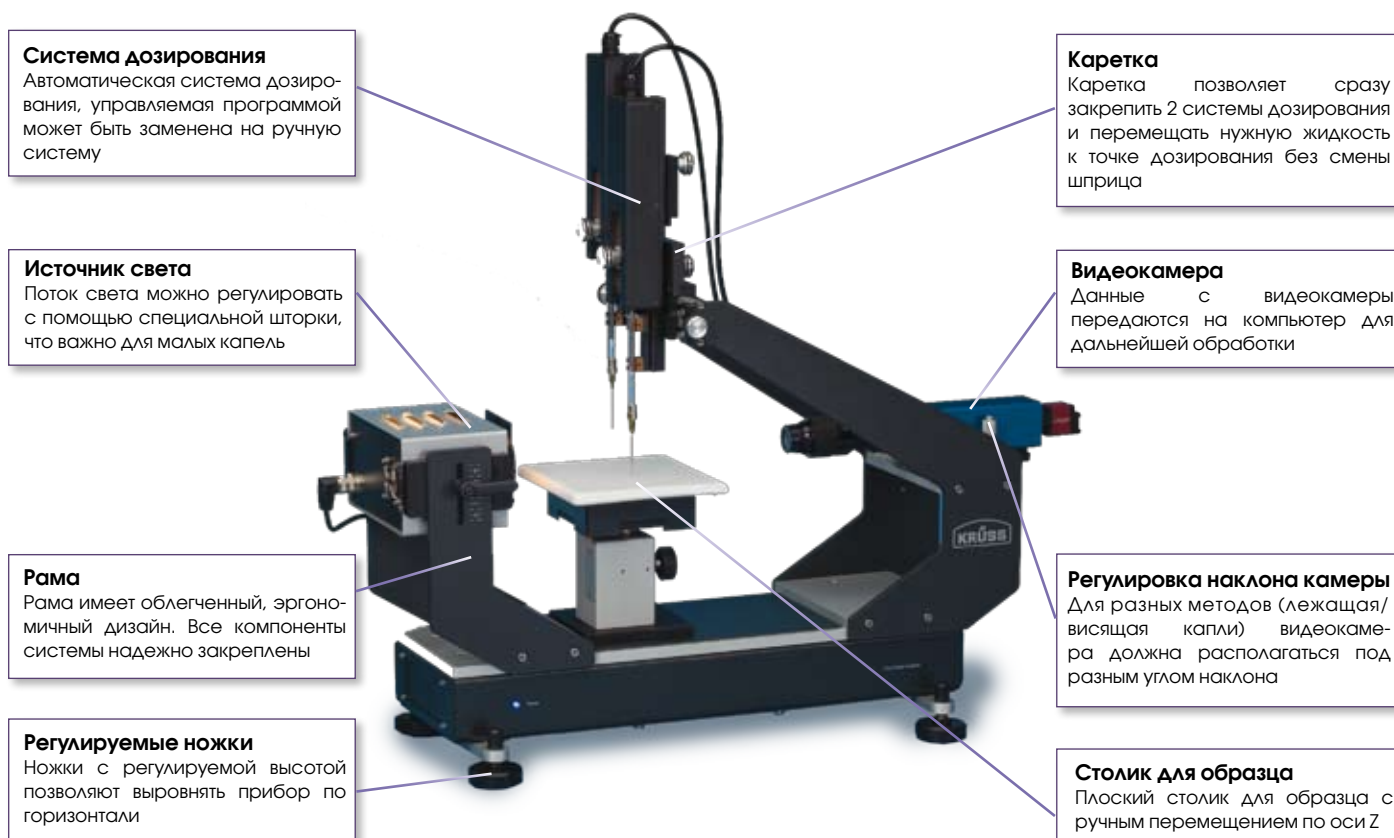
Прибор для измерения краевого угла DSA25 пришел на смену модели EasyDrop. Система DSA25 предназначена для измерения краевого угла, расчёта свободной энергии поверхности, а также межфазного натяжения методом висящей капли. На сегодняшний день это базовая модель в линейке приборов DSA.

Прибор для измерения краевого угла DSA25 имеет подвижную каретку для одновременного размещения двух дозирующих систем. Теперь пользователь может работать с двумя стандартными жидкостями, не тратя время на замену шприца. Ему достаточно переместить каретку с нужным шприцом в зону дозирования. Данная опция удобна при определении свободной энергии поверхности при рутинных измерениях. На каретке можно закрепить как систему ручного, так и систему автоматического дозирования. Ручное дозирование с пластиковыми шприцами удобно для «пачкающих» жидкостей, автоматическая система дозирования используется для измерения натекающих или оттекающих капель, а также для дозирования капли определенного объема.

Прибор DSA25 поставляется со стандартным столиком, высота которого регулируется с помощью рукоятки. Столик крепится к раме с помощью сильного магнита, поэтому его можно снять для высоких образцов. При транспортировке прибора столик фиксируется к раме с помощью винтов. Столики с автоматическим управлением, а также с подвижными осями X и Y для DSA25 не доступны. Среди стандартных опций имеются камеры создания атмосферы для измерения при повышенных/ пониженных температурах или в среде инертного газа. Специальные иглы и кюветы позволяют проводить измерения по разным методам (описание методов см. ниже).

Видеокамера записывает изображение капли и передает его на компьютер, далее программа производит расчет и анализ. Видеокамера подключается к компьютеру через интерфейс RS232. При заказе специальной карты-адаптера прибор подключается к ноутбуку с PCI-слотом. Прибор не может работать без компьютера.

Изображения капель записываются программой, сохраняются в базу данных и могут быть впоследствии проанализированы видеорядом или по кадру. Анализ видеоряда интересен для динамических углов, а также для быстротекущих процессов. На основании краевых углов программа рассчитывает свободную энергию поверхности. Висящая капля также записывается программой, а затем производится оценка изображения.



	DSA25B	DSA25S	DSA25E
Краевой угол			
- диапазон	1 ... 180°		
- разрешение	± 0,1°		
Межфазное натяжение			
- диапазон	0,01 ... 1000 мН/м		
- разрешение	0,01 мН/м		
Макс. размер образца	300 x ∞ x 50 мм		
Рабочие температуры (опция)	-30 ... +160°C		
Габариты (Д x Ш x В)	520 x 160 x 530 мм		
Вес	10 кг		
Методы измерения:			
- лежащая капля	+	+	+
- висящая капля	+	+	+
- расчёт поверхностной энергии (8 методов)	опция	опция	+
- ODM/EDM-реология	-	-	-

Иглы

Для измерений по методу висящей капли используют толстые иглы, чтобы получить большую каплю. При работе по методу лежащей капли применяют более тонкие иглы. Имеются также специальные кривые иглы для метода «пленённого пузырька» и метода висящей капли (поднимающейся).

Кюветы

Стеклянные прозрачные кюветы позволяют измерять межфазное натяжение методом висящей капли, а также краевой угол методом «пленённого пузырька». Также есть кювета с рубашкой для исследований при повышенных/ пониженных температурах.

Прибор для измерения краевого угла расплавов DSAHT



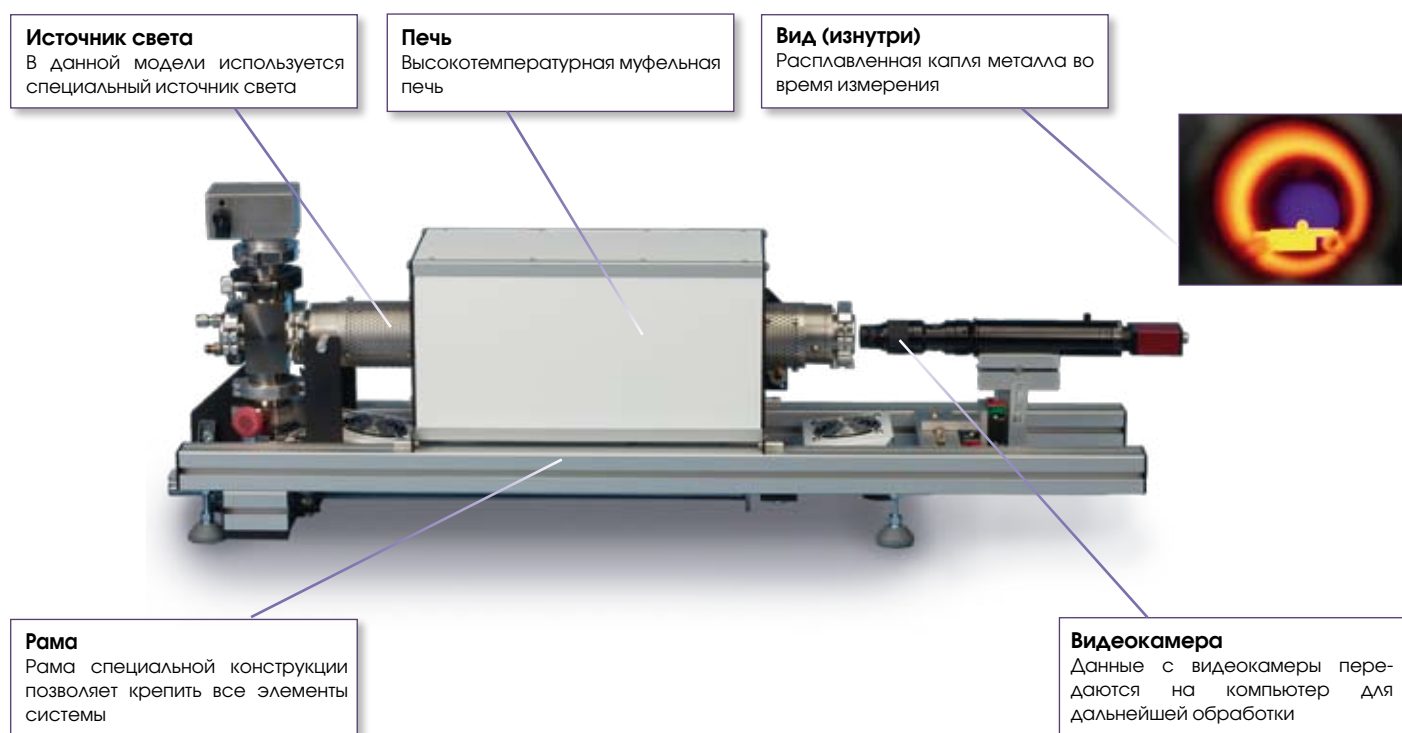
Прибор DSAHT предназначен для определения поверхностных свойств в экстремальных условиях. Прибор даёт возможность измерять краевой угол смачивания и поверхностное натяжение при температурах до 1750°C в различных атмосферах. Позволяет получить фото- и видеоизображение изменения формы расплавленных образцов. Очень высокие температуры применяются при производстве стекла, керамики, сплавов металлов и т.п. Например, на плавильных заводах контакт металла или шлака со стенками сосудов должен быть минимальным. Данный параметр можно оценить по краевому углу смачивания. Благодаря гибкости температурного диапазона и возможности подводить различные газы система DSAHT удовлетворяет потребности многих отраслей.

В основе прибора DSAHT сумели соединиться высокотемпературная печь и оптическая система, стойкая к высоким температурам. Температура в печи может задаваться как по одной точке, так и по определенной программе с возможностью циклической работы. Длина печи гарантирует однородное распределение температуры вокруг образца, а подходящий температурный градиент между краями способствует увеличению времени жизни системы. Благодаря специальной конструкции, печь довольно быстро открывается, загружается и вновь закрывается. Расположение образца можно регулировать с помощью специальных рельс внутри камеры даже при закрытой печи. Так как рабочая труба механически отделена от нагревающих элементов, при необходимости она может быть легко заменена.

Камера оснащена автоматическим поддержанием фокуса, что позволяет непрерывно наблюдать за образцом на экране. Расплавленный образец записывается в виде чётких, высококонтрастных изображений благодаря системе фильтров.

В зависимости от материалов печей и уплотнений система DSAHT может работать при температурах 1200°C, 1500°C и 1750°C. Измерение проводится в атмосфере кислорода, азота (инертного газа) или при разряжении. Подсоединение для газа входит в стандартный комплект поставки, также как и соединения для подключения вакуумного насоса.

Измерение температуры, запись изображения и анализ формы капли осуществляется с помощью программы DSA. Дополнительный модуль датчика температуры и запуска измерения позволяет строить зависимость краевого угла как функции от времени.



	DSAHT12	DSAHT15	DSAHT17-1	DSAHT17-2
Макс.температура	1200°C	1500°C	1750°C	1200°C
Материал нагревателя	FeCrAl	MoSi ₂	Mo	MoSi ₂
Материал трубки для образца	Al ₂ O ₃ + SiO ₂	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Внутренний диаметр x длина трубы	40 x 600 мм	40 x 600 мм	40 x 600 мм	40 x 600 мм
Зона трубы с постоянной температурой	100 мм	80 мм	100 мм	80 мм
Атмосфера в камере				
- инертный газ	+	+	+	-
- воздух	+	+	-	+
- разряжение	+	+	+	+
- вакуум	+	+	+	+
Предел температуры при вакууме	1200°C	1400°C	1000°C	1000°C
Краевой угол	1 ... 180° ± 0,1°			
- диапазон				
- разрешение				
Площадка для образца	4 см ²			
Методы измерения:	+			
- метод лежащей капли (краевой угол)				
- метод висящей капли (поверхностное натяжение)				
- расчёт свободной энергии поверхности (8 методов)				
- ODM/EDM-реология				

Прибор для измерения краевого угла в углублениях TVA100

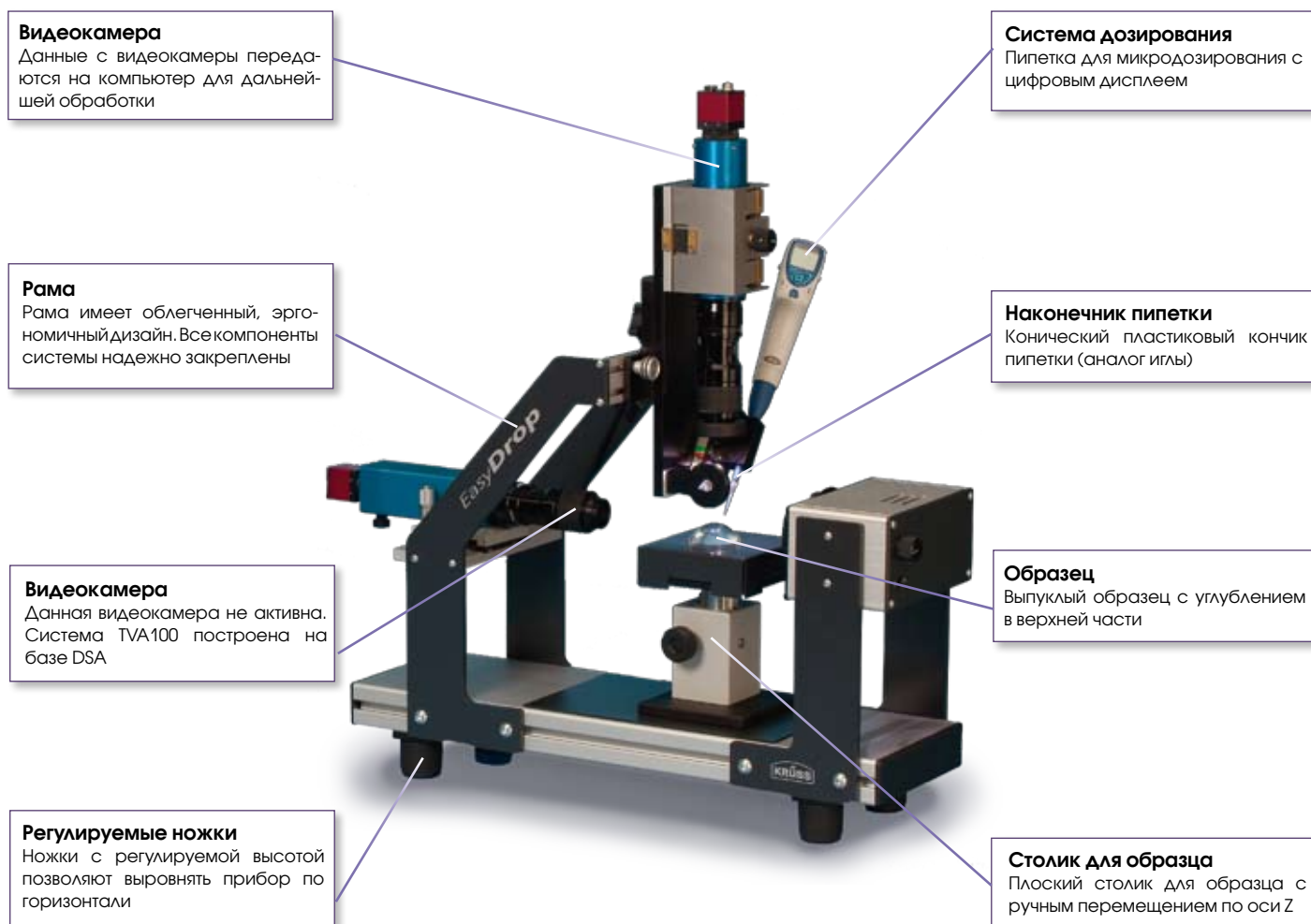


Система TVA100 позволяет измерять краевой угол по отраженному свету. Прибор был разработан для решения специфических задач в области биотехнологии, микроэлектроники, производства плат, керамики, линз и т.п. Прибор может быть приобретен сам по себе, в виде сменного модуля для систем DSA15/DSA25, DSA30, DSA100, а также в виде портативной версии для работы с большими образцами.

Стандартный анализ краевого угла в углублении или на поверхности со сложным рельефом невозможен, т.к. на подобных образцах нельзя получить изображение капли сбоку. При измерении краевого угла в углублении камера располагается сверху, а краевой угол рассчитывается на основании расстояния между двумя точками отраженного света с кривой поверхности капли. Дозирование капли осуществляется микрометрической автоматической пипеткой.

Данная технология позволяет измерить краевой угол на сложных поверхностях, не разрушая образец. Кроме того, наблюдение за образцом сверху даёт возможность визуально оценить неоднородность смачивания. Так как капля может быть расположена в любом месте, свободная энергия поверхности может быть рассчитана на основании различных жидкостей.

Видеокамера воспринимает отраженный свет и передает его на компьютер, далее специальная программа производит расчет и анализ. Видеокамера подключается к компьютеру через интерфейс RS232. Прибор можно также подключить к ноутбуку с PCI-слотом, при заказе специальной карты-адаптера. Прибор не может работать без компьютера.



	TVA100	
Краевой угол		
- диапазон	3.5 ... 23°	23 ... 75°
- разрешение	± 0,1°	± 1°
Межфазное натяжение (опция), мН/м	-	
- диапазон		
- разрешение		
Макс. размер образца	300 x ∞ x 50 1000 x 1000 x 60 мм (TVA100R)	
Рабочие температуры	комн.	
Габариты (Д x Ш x В), мм	зависит от основания	
Вес, кг	13 ... 60	
Методы измерения:		
- метод отраженного света (краевой угол)	+	
- расчет свободной энергии поверхности (6 методов)	+	

Система микропозиционирования
Компактный столик с регулируемыми осями X и Y позволяет перемещать образцы на минимальные расстояния в горизонтальной плоскости.



Анализаторы поверхности GH11 (MobileDrop) и GH100



MobileDrop – компактный прибор для измерения краевого угла смачивания любых поверхностей, в том числе наклонных и вертикальных. Прибор предназначен для контроля качества поверхностей вне зависимости от размещения образца. Поставляется с чемоданчиком для переноски и хранения прибора и основных рабочих элементов.

Измеряющее устройство весит всего 500 г и легко управляется одной рукой. В нем компактно умещаются оптическая призма, камера и шприц. Прибор работает через USB-разъем ноутбука, данные измерений передаются в программу DSA, которая рассчитывает свободную энергию поверхности (СЭП).

Гнездо для шприца

Гнездо для крепления шприца с колесом регулировки в приборе

Лазерная указка

Лазерная указка позволяет отметить место дозирования лазерной точкой

Шприц с иглой

В GH11 используются пластиковые шприцы и специальные пластиковые иглы



Чемоданчик

В чемоданчике хранится сам прибор, емкости для жидкостей, шприцы, иглы

Основание прибора

Прямоугольное основание с резиновой основой для плотного прижимания к образцу

Колесо регулировки

Колесо сопряжено с поршнем. Вращение колеса приводит к формированию капли

Прибор GH100 разработан для контроля смачиваемости больших поверхностей, например, печатных валов, покрытий автомобилей и кораблей. В лаборатории данный прибор может быть установлен на специальную платформу. На производственных объектах при использовании специальной рамы-робота возможна полная автоматизация работы анализатора поверхностей (разработано для корейских автомобильных заводов).

Кабель

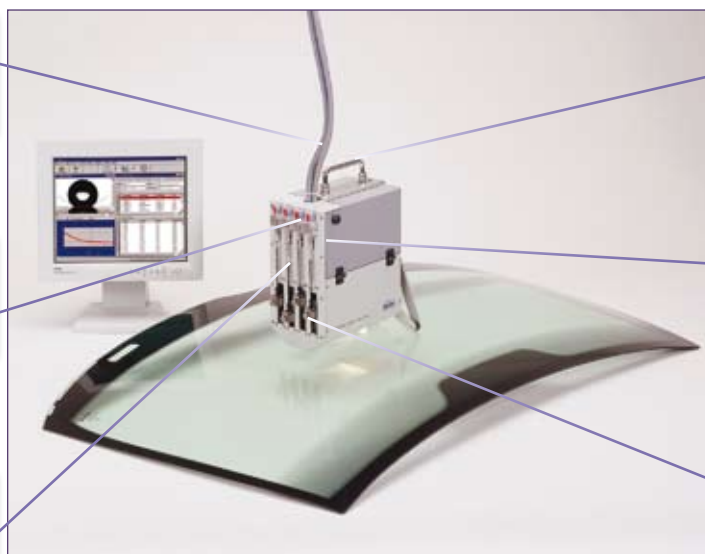
Кабель для питания установки и передачи изображения на компьютер

Клапаны

Регулируют направление жидкости: дозирование или пополнение шприца

Шприцы стеклянные

Стеклянные шприцы управляются поршнями



Ручка для переноски

Для перемещения прибора вручную по поверхности большого образца

Отсек для жидкости

В данном отсеке помещаются емкости с дозируемыми жидкостями

Поршни шприцов

Поршни управляются программой и позволяют дозировать нужную жидкость

	GH11	GH11HT	GH100
Краевой угол			
- диапазон		5 ... 175°	
- разрешение		± 0,1°	
Межфазное натяжение			
- диапазон	-	-	0 ... 100 мН/м
- разрешение	-	-	0,01 мН/м
Объем капли	2 мкл	2 мкл	
Рабочие температуры	окр. среда	до +250°C	окр. среда
Габариты (Д x Ш x В), мм	100 x 50 x 120	100 x 50 x 120	270 x 270 x 150
Вес	0,5 кг	0,5 кг	7,2 кг
Методы измерения:			
- метод лежащей капли	+	+	+
- метод висящей капли	-	-	+
- расчет свободной энергии поверхности	+	+	+
- ODM/EDM-реология	-	-	-

Стандарты для калибровки

Краевой угол зависит как от свойств жидкости, так и от свойств поверхности. Чтобы убедиться в достоверных показаниях прибора, можно использовать стеклянные стандарты с лазерной гравировкой капли с определенным краевым углом.



Камеры создания атмосферы для приборов серии DSA

Данные камеры необходимы для проведения исследований в условиях, отличных от комнатных по температуре (и влажности).

ТС11 Камера большая

Верхняя и нижняя стенки камеры имеют полость, в которой циркулирует теплоноситель заданной температуры. Температура в камере поддерживается за счет внешнего термостата (опция). Температура воздуха в камере определяется с помощью встроенного датчика температуры, для ее отображения необходим внешний дисплей ТС3213.

Образец загружается через боковую дверцу. Подложка с образцом может двигаться перпендикулярно оптической оси, для смены места дозирования капли без вынимания образца. Имеется система для размещения малых образцов. Игла опускается через верхнее круглое отверстие.

- Внутренние размеры: 132 x 132 x 27 мм
- Рабочие температуры: -10 ... +120°C



ТС21 Камера высокотемпературная

Температурная камера с электрическим нагревом, позволяет поддерживать температуры до 400°C (шаг установки 0,1°C). Камера имеет PID-контроллер для регулирования температуры с цифровым дисплеем с внешним датчиком температуры РТ100.

- Внутренние размеры: 100 x 100 x 25 мм
- Рабочие температуры: +50 ... +400°C

ТС30 Камера создания атмосферы

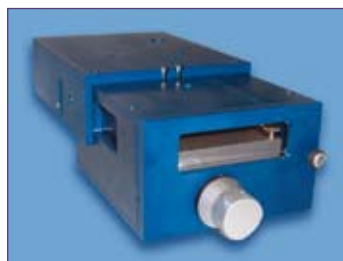
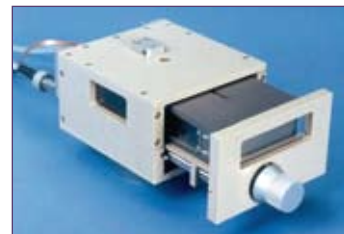
Температура в камере поддерживается с помощью внешнего циркуляционного термостата (опция). Температура воздуха в камере определяется с помощью встроенного датчика температуры, для ее отображения необходим внешний дисплей ТС3213.

Образец загружается за счет выдвижения подложки. Подложка, на которой размещается образец, может двигаться перпендикулярно оптической оси, с помощью рукоятки на передней панели. Это позволяет легко передвинуть образец, не вынимая его из камеры. Отверстие может закрываться пластинами при работе в среде инертного газа.

Может подсоединяться внешний датчик температуры, который может определить температуру образца или жидкости в камере.

При работе с системой DSA30 или DSA100 камера может быть оснащена прибором для контроля влажности НС10.

- Внутренние размеры: 100 x 100 x 25 мм
- Рабочие температуры: +5 ... +90°C



ТС40МК2 Камера быстрой смены температуры

Камера с элементами Пельтье позволяет быстро реагировать на смену температуры. Для охлаждения необходимо подключить к внешнему охлаждающему термостату (н-р, Minichiller). Без контура охлаждения камера работать не будет.

Образец загружается за счет выдвижения подложки. Подложка, на которой размещается образец, может двигаться перпендикулярно оптической оси, с помощью рукоятки на передней панели. Это позволяет легко передвинуть образец, не вынимая его из камеры. Отверстие может закрываться пластинами при работе в среде инертного газа.

Возможно подсоединение внешнего датчика температуры для определения температуры образца или жидкости в камере. Температура будет отображаться на блоке управления камеры.

При работе с системой DSA30 или DSA100 камера может быть оснащена прибором для контроля влажности НС10.

- Внутренние размеры: 100 x 100 x 25 мм
- Рабочие температуры: -30 ... +160°C

НС10 Система контроля влажности

Позволяет контролировать влажность в камерах ТС30 и ТС40МК2. Для работы необходим источник очень сухого сжатого воздуха 3-6 бар. Рекомендуется для стабильной работы использовать также изоляционный кожух ТС3200.

Диапазон влажности:

- ниже 5% при 70-90°C
- 15 ... 85% при 22°C
- выше 89% при 10-15°C

Термостаты для поддержания температуры в камерах

Немецкие циркуляционные термостаты Huber позволяют поддерживать заданную температуру в камере за счет циркуляции теплоносителя. Термостаты могут иметь простой блок управления (МРС) для контроля по одной точке или программируемый блок управления (СС) для создания режимов термостатирования.

K6-cc	Охлаждающий и нагревающий термостат, -25 ... +200°C (программируемый)
K6-mpc	Охлаждающий и нагревающий термостат, -25 ... +200°C
Minichiller	Охлаждающий термостат, -20 ... +40°C (не имеет нагрева, работает только на охлаждение)
mpc-106A	Нагревающий термостат с ванной из поликарбоната, комн. ... +100°C
mpc-202C	Нагревающий термостат с ванной из нерж.стали, комн. ... 200°C



Программное обеспечение

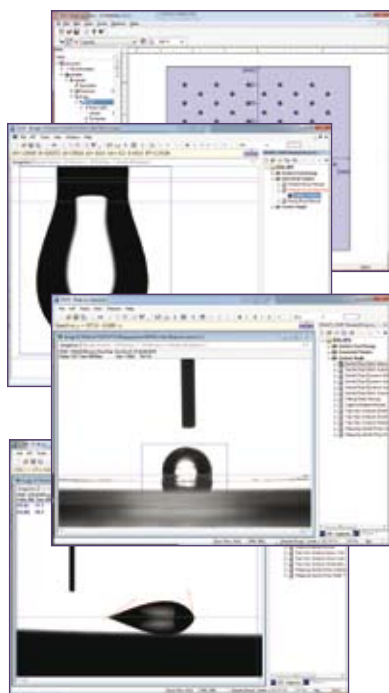
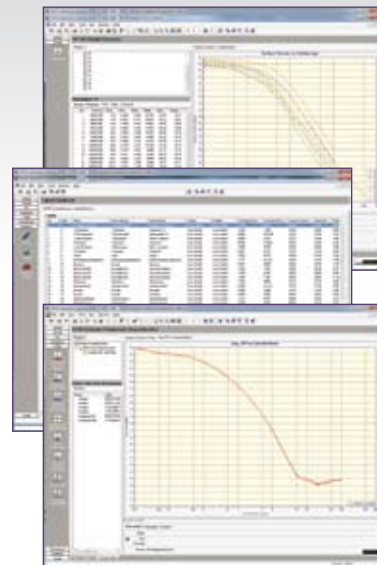
Программное обеспечение LabDesk для тензиометров

Программа LabDesk – это рабочее пространство для управления и контроля тензиометров KRUSS всех типов. Программа позволяет полностью автоматизировать процедуру измерения, оператору необходимо будет только задать исходные условия (для тензиометра K20 и K20S доступна только база данных и сбор информации). Результаты измерений отображаются в виде графиков, таблиц, а также в виде специфических коэффициентов.

Рабочее пространство разделено на зоны:

- выбор модели тензиометра
- выбор эксперимента из базы данных (дерево структуры)
- рабочее окно программы (установка параметров)
- окно результатов
- окно графиков

Все результаты измерений сохраняются в базу данных – папку на компьютере, из которой полученные данные всегда можно загрузить в программу. Таким образом, можно провести серию измерений, собрать данные и графики, а анализ полученных результатов произвести позже. База данных состоит из проектов – серии экспериментов, каждая из которых может включать от одного до нескольких измерений. Измерение можно копировать и переносить из одного проекта в другой.



Программное обеспечение DSA для приборов краевого угла

Программное обеспечение DSA имеет модульную структуру и позволяет рассчитать краевой угол смачивания, свободную энергию поверхности и поверхностное (межфазное) натяжение. Все приборы серии DSA рассчитывают краевой угол одним из 6 методов – это базовый модуль программы. Количество предустановленных модулей зависит от модификации прибора (Basic, Standard, Expert), но дополнительный модуль программы можно при необходимости активировать. Кроме того, имеется программа для построения энергетической карты поверхности и для изучения реологии поверхностных плёнок.

Окно программы имеет несколько рабочих зон:

- выбор эксперимента из базы данных (дерево структуры)
- рабочее окно программы (установка параметров)
- окно изображения и результатов.

Программное обеспечение полностью управляет прибором (системой дозирования, перемещением осей), записывает видеоизображение капли, производит анализ, сохраняет изображение в базу данных. Сохранённое видеоизображение можно воспроизвести и выбрать наиболее интересные эпизоды или кадры для анализа. Кроме того, имеется опция быстрого анализа видеоряда, что позволяет исследовать стекающие или испаряющиеся капли. Программа автоматически определяет базовую линию, в том числе на изогнутых поверхностях. При необходимости пользователь может скорректировать положение и траекторию базовой линии.

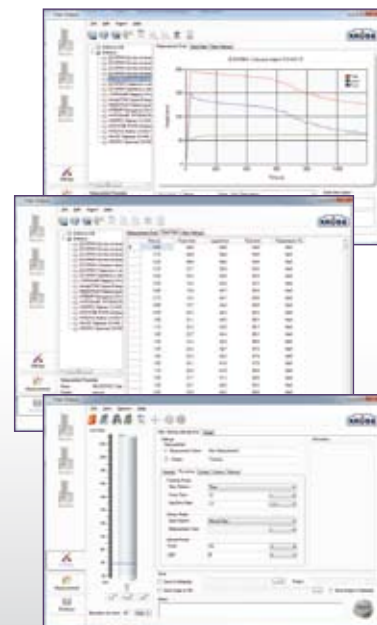
Программное обеспечение Foam Analysis для анализатора пены

Программа Foam Analysis имеет дружелюбный интерфейс, схожий с программами Windows, поэтому пользователи довольно легко в ней ориентируются. Одна программа позволяет управлять от одного до трёх анализаторов пены. Пользователь вводит в программу данные об исследуемом продукте (название, концентрацию, количество и т.п.), скорость продувки газа, интенсивности источника света, скорости анализа данных, место сохранения результатов.

Во время эксперимента в программе визуально отображается столб пены; его верхняя граница обозначена меткой, положение которой непрерывно меняется по мере распада пены. Пользователь выбирает в программе момент остановки формирования пены: по объёму прокачанного воздуха, по высоте столба пены, по времени. Спектр светопропускания во время измерения сохраняется в базе данных в виде фотографии.

По ходу эксперимента пользователь наблюдает график изменения высоты пены, высоты жидкости, а также общей высоты (пена + жидкость). Анализ производится после окончания эксперимента: кроме максимальной высоты столба пены и минимального уровня жидкости, программа рассчитывает специфические коэффициенты, том числе по методам Росс-Майлса и NIBEM, а также скорость дренажа воды из пены.

Дополнительный модуль программы позволяет определить 2D-структуру пены, рассчитать площадь пузырьков в 2D-проекции, определить количество пузырьков с одинаковой площадью и построить кривую распределения.



Теоретические основы

Поверхностное и межфазное натяжение

Взаимодействие между молекулами жидкости и нерастворимой в ней другой жидкости или газа приводит к образованию поверхности раздела фаз. Для изменения формы межфазного слоя необходимо затратить определенную энергию: усилие, которое необходимо приложить к межфазной поверхности для ее изменения, называется *поверхностным натяжением* (для системы жидкость-газ) или *межфазным натяжением* (для системы жидкость-жидкость).

Поверхностное и межфазное натяжение измеряют с помощью тензиометров. Если исследуемая система находится в термодинамическом равновесии (параметры системы не изменяются во времени), то определяют статическое поверхностное/межфазное натяжение с помощью метода кольца дью Нуи или пластины Вильгельми (тензиометры серии K), метода вращающейся капли (тензиометр SIT 100) или метода висящей капли (приборы для измерения краевого угла серии DSA).

Динамические методы анализа позволяют измерять изменение поверхностного / межфазного натяжения во времени, что особенно важно для систем, содержащих поверхностно-активные вещества (ПАВ). Динамическое поверхностное натяжение можно измерить с помощью метода максимального давления в пузырьке (тензиометры серии BP) или с помощью метода падающей капли (тензиометр DVT50), динамическое межфазное натяжение измеряется с помощью метода падающей капли (тензиометр DVT50).



При подборе тензиометра необходимо учитывать не только статический или динамический метод измерения, но и рабочий диапазон, который есть у каждого метода.

Наиболее часто используют метод кольца/пластины, а также метод максимального давления в пузырьке. Для определения сверхнизких поверхностных натяжений применяют метод вращающейся капли. Метод висящей капли был разработан в дополнение к приборам для измерения краевого угла смачивания (серия DSA).

Метод кольца (Метод дью Нуи)

Это классический метод для определения поверхностного/межфазного натяжения, который основан на измерении максимального усилия (F) для отрыва кольца с известной геометрией (длиной смачивания, L), сделанного из хорошо смачиваемого материала (угол смачивания = 0°). При подъеме кольца жидкость стремится стечь с него, что приводит к постепенному утончению плёнки жидкости и отрыву кольца.

Основной недостаток данного метода – необходимость вводить поправки на прикладываемую силу из-за того, что жидкость под кольцом мешает его отрыву. Сила, необходимая для отрыва кольца, определяется с помощью встроенных весов (цифровые тензиометры), поэтому вес жидкости под кольцом необходимо вычесть из максимально измеренной силы.

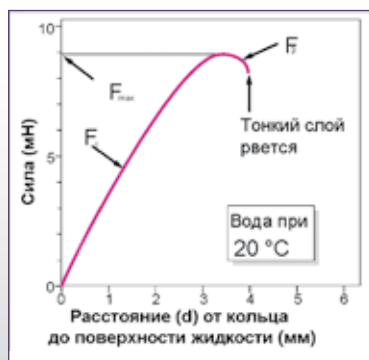
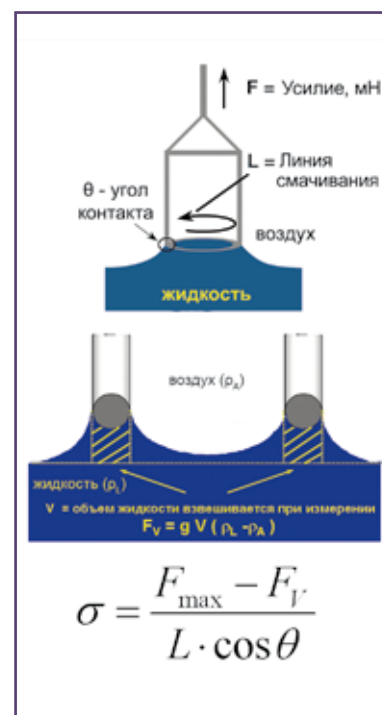
Кроме веса жидкости под кольцом необходимо учитывать разницу внешнего и внутреннего диаметра кольца. Максимальная нагрузка, при которой угол смачивания равен 0°, достигается по-разному для внутренней и внешней стороны кольца. Выделяют три специализированных метода расчета поправок.

Метод Харкинса-Джордана. Харкинс и Джордан составили таблицу поправок для определения поверхностного натяжения разных материалов при разном диаметре кольца. Эти поправки вносят большую точность, но может встретиться жидкость, не вошедшая в таблицу, хотя на практике такие случаи редки.

Метод Зайдема-Уотерса. Поправки Зайдема-Уотерса необходимы для корректировки небольшого поверхностного натяжения. Для этой цели они провели интерполяцию данных Харкинса и Джордана, чтобы более точно рассчитать диапазон малых величин. Однако поправки Зайдема-Джордана имеют больший диапазон отклонения и должны использоваться только для сравнения с литературными данными.

Метод Хаша-Масона. Хаш и Масон использовали математические методы для увеличения диапазона применения поправок. Этот метод имеет самый большой диапазон охвата, обладающий значительной точностью. Многие выбирают его за стандарт, в том числе компания KRUSS.

Сила межфазного натяжения рассчитывается на основе разницы между максимальным усилием (F_{max}), приложенным для отрыва кольца, и силой гидростатического столба жидкости под кольцом (F_v). Данные для последней величины могут быть взяты из специальных таблиц (Харкинса-Джордана) или рассчитаны на основе разности плотностей фаз, геометрических данных кольца и высоты поднятия тонкого слоя жидкости. Краевой угол между жидкостью и стандартным кольцом равен нулю для большинства общеизвестных жидкостей (за исключением ртути).



В настоящее время разделяют два метода кольца: **метод отрыва кольца** и **метод тонкой плёнки**. Современные методы анализа показали, что максимальная нагрузка на весы (максимальное натяжение) фиксируется в момент, когда краевой угол смачивания = 0°, при этом под кольцом образуется тонкая плёнка жидкости. В момент отрыва кольца плёнка жидкости истончается, и поверхностное / межфазное натяжение уже не максимально.

Современные тензиометры по методу кольца позволяют несколько раз растянуть/сжать тонкий слой плёнки без обрыва и, на основе нескольких измерений, рассчитать среднее значение. В этом случае может быть зафиксировано изменение поверхностного натяжения во времени. Так как во время измерения происходят небольшие изменения площади поверхности, то метод также называют «псевдостатическим» (частично статическим).

Метод кольца дью Нуи подходит для измерения поверхностного/межфазного натяжения в диапазоне 2...100 мН/м.

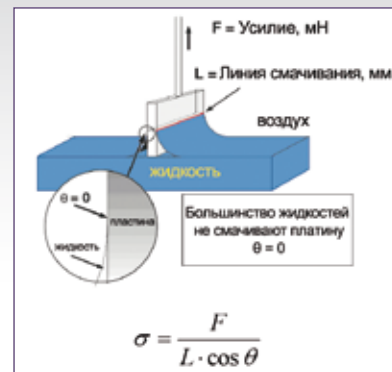
Метод пластины (Метод Вильгельми)

Пластина (известных размеров) взаимодействует с поверхностью жидкости. При этом жидкость смачивает пластину вдоль вертикального контура. Стандартная пластина остается своим нижним краем на нулевом уровне (на уровне поверхности жидкости) на протяжении всего измерения. В этом случае нет необходимости вводить поправку на силу веса жидкости под пластиной, как в методе кольца. Дополнительным преимуществом метода пластины является то, что не надо знать плотности жидкости. В дополнение ко всему, при этом методе не происходит перемешивания фаз (пластина только касается жидкости). Несмотря на эти преимущества, метод кольца более точен, т.к. выше прикладываемые силы, и имеет много справочных данных по разным жидкостям.

Поверхностное натяжение рассчитывается на основании измеряемой силы (F), длины смачиваемой поверхности (L) и краевого угла смачивания (θ). Стандартные пластины выполняются из материалов, которые очень хорошо смачиваются, т.е. $\theta = 0^\circ$.

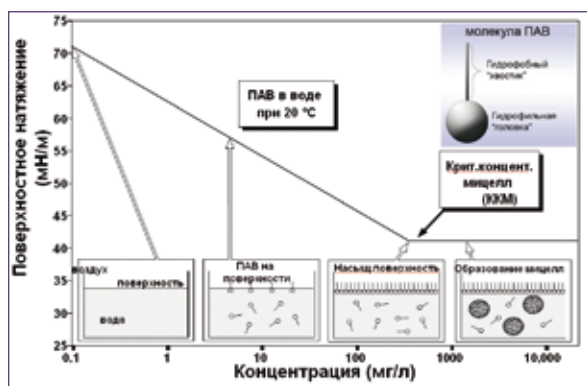
Метод Вильгельми используется для определения краевого угла смачивания плоских (квадратных) образцов, а также лежит в основе метода для определения смачиваемости порошков (метода Вашбурна). Оба обратных метода реализованы в тензиометре K100.

Метод пластины Вильгельми подходит для измерения поверхностного/межфазного натяжения в диапазоне 5...100 мН/м.



Критическая концентрация мицеллообразования

Поверхностное натяжение зависит от химической структуры жидкости, особенно это характерно для поверхностно-активных веществ (ПАВ), имеющих двойственную природу: гидрофильную головку и гидрофобный «хвостик». Ориентируясь определенным образом на поверхности жидкости, они снижают ее поверхностное натяжение.



Не только структура молекул ПАВ, но и их количество, влияет на поверхностное натяжение. Равновесное значение поверхностного натяжения снижается при увеличении молекул ПАВ. Когда поверхность жидкости полностью закрыта молекулами ПАВ, поверхностное натяжение минимально. Дальнейшее добавление ПАВ приведет к образованию мицелл. Концентрация ПАВ, при которой начинается формирование мицелл, называется «критическая концентрация мицеллообразования» (КММ). КММ является важной характеристикой ПАВ.

Для определения КММ проводят серию измерений поверхностного натяжения при различных концентрациях ПАВ. Поверхностно-активные вещества имеют особый тип кривой зависимости поверхностного натяжения от концентрации. Для того чтобы определить критическую концентрацию мицелл, необходимо построить две линейные зависимости, полученные на основе серии экспериментов с различными концентрациями ПАВ. Точка пересечения двух линий дает КММ.

Прямой метод (увеличение концентрации ПАВ). При прямом методе в чистый растворитель (воду) вводят ПАВ. В самом начале увеличение концентрации активных молекул в растворе приводит к снижению поверхностного натяжения; график в координатах $\sigma - \ln C$ представляет собой прямую линию. Когда достигается критическая концентрация, т.е. раствор полностью насыщается поверхностно-активными молекулами, дальнейшее увеличение ПАВ никак не влияет на поверхностное натяжение.

В тензиометрах K100 КММ рассчитывается автоматически с помощью программного обеспечения LabDesk. Изменение концентрации происходит автоматически с помощью системы дозирования Dosimat, которая управляется с компьютера. Весь процесс определения КММ полностью автоматизирован.

Обратный метод (метод разведения). Обратный метод определения КММ основан не на добавлении ПАВ, а на разбавлении исходного раствора. Исходный раствор определенной концентрации (концентрация должна быть выше искомой) помещают в сосуд, а затем в него доливают разбавитель (воду). К данному способу измерения прибегают в случаях, когда ожидают очень низкую КММ.

При прямом методе измерения возможность ошибки очень велика: точность дозирования должна быть очень высокой, чтобы не пропустить искомую концентрацию. В обратном же методе низкая концентрация ПАВ определяется, когда в раствор добавлено много разбавителя, следовательно, ошибка минимальна.

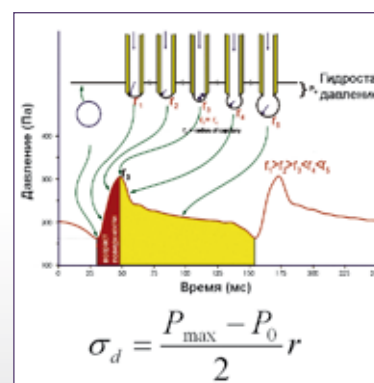
Метод максимального давления в пузырьке

При увеличении количества газа, проходящего через капилляр, возраст поверхности снижается, а, следовательно, снижается время, необходимое молекулам для диффузии или адсорбции на межфазной поверхности. Это приводит к неполному покрытию вновь образованной поверхности активными молекулами, в результате поверхностное натяжение увеличивается. Продолжительное наблюдение за каждым пузырьком (за временем и давлением) позволяет построить кривую зависимости поверхностного натяжения от возраста поверхности.

Согласно уравнению Лапласа давление внутри газового пузырька увеличивается при уменьшении его диаметра. При формировании газового пузырька на кончике капилляра, опущенного в жидкость, форма пузырька меняется в зависимости от приложенного давления.

Давление достигает максимума ($P_{\max}$), когда пузырек принимает форму сферы. Это максимальное давление прямо пропорционально поверхностному натяжению жидкости (P_0 – гидростатическое давление в капилляре за счет погружения, r – радиус сферы = радиус капилляра).

С помощью метода максимального давления в пузырьке можно измерять поверхностное натяжение до 100 мН/м. Диапазон возраста поверхности, измеряемого с помощью современных тензиометров, от 5 мсек до 50 сек.



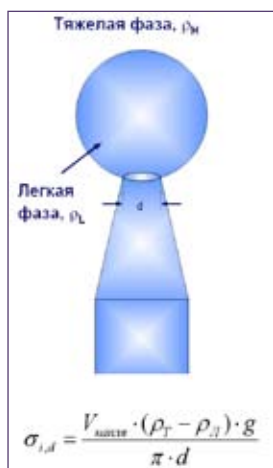
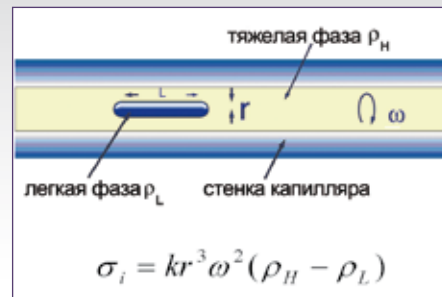
Метод вращающейся капли (оптический метод)

Для очень малого межфазного натяжения методы кольца и пластины не подходят, т.к. силы взаимодействия очень малы, а сама поверхность очень нестабильна. Поэтому межфазную поверхность разрушают до такой степени, чтобы можно было легко определить результирующие силы. Для метода вращающейся капли против сил поверхностного натяжения используют центробежные силы.

Капля легкой фазы (обычно, масло) вводится с помощью капилляра в толщу тяжелой фазы. Капилляр вращается вдоль своей оси с определенной частотой. При частоте 0 Гц капля будет иметь форму шара. При увеличении частоты молекулы межфазного слоя будут подвергаться воздействию центробежных сил, направленных перпендикулярно оси вращения капилляра. Силы межфазного натяжения равны (но точки приложения отличаются) центробежной силе, а молекулы в межфазном слое двигаются по определенной траектории с радиусом r . Благодаря этому факту капля вытягивается вдоль оси вращения до достижения равновесия.

Зная разницу между плотностью тяжелой фазы (ρ_H) и плотностью легкой фазы (ρ_L), радиус вращения капли (r), частоту вращения (ω) можно определить межфазное натяжение (k – постоянная прибора, зависящая от приближения оптики).

Диапазон измерения межфазного натяжения с помощью метода вращающейся капли: $10^{-6} \dots 50$ мН/м.



Метод объёма капли (Метод счёта капель)

Этот метод применяется для измерения динамического межфазного натяжения. Капля формируется на кончике капилляра. Если капля является более легкой жидкостью, чем окружающая среда, она будет всплывать. Перед тем как капля оторвется от кончика капилляра, наступит равновесие между силами плавучести, направленными вверх, и силами сцепления, которые удерживают каплю на кончике капилляра за счет поверхностного натяжения.

Если плотность капли больше, чем плотность окружающей среды, то имеет место отрицательная плавучесть (силы направлены вниз).

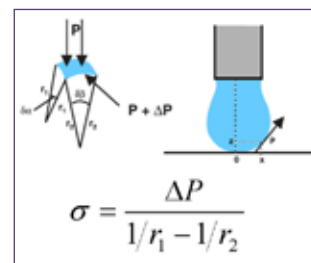
Зная объем капли в момент отрыва ($V_{капля}$), который задается системой дозирования тензиометра, плотность тяжелой фазы (ρ_T) и легкой фазы (ρ_L), а также диаметр капилляра можно рассчитать динамическое межфазное натяжение (g – гравитационная постоянная).

Изменяя скорость дозирования жидкости, можно получить кривую зависимости межфазного натяжения от возраста поверхности. Диапазон измерения времени образования поверхности по данному методу зависит, в основном, от вязкости дозируемой жидкости и варьируется от одной секунды до нескольких часов. Диапазон межфазного натяжения от 0,1 до 55 мН/м.

Метод висящей капли (оптический метод)

Так как поверхностное натяжение стремится минимизировать площадь поверхности жидкости, то геометрия капли в отсутствие гравитации будет идеальной сферой. Если на каплю действуют силы гравитации и что-то фиксирует верх капли, последняя вытягивается вдоль оси действия сил гравитации. Согласно уравнению Лапласа давление, действующее на каплю, зависит от радиуса кривизны контура. По разнице давлений (ΔP), действующих на кончик капли и другие её точки, можно рассчитать поверхностное натяжение. Для этой цели фотографируется форма капли и, с помощью уравнения Лапласа, рассчитывается межфазное натяжение (r_1 и r_2 – основные радиусы кривизны контура).

Со стандартным оптическим оборудованием допустимый диапазон измерения приблизительно от 0,1 мН/м до нескольких сотен мН/м.



Краевой угол смачивания

С технической точки зрения коэффициент поверхностного натяжения является одной из важнейших характеристик системы веществ, имеющих общую поверхность раздела, так как он отражает энергетическое состояние этой поверхности, а следовательно, и ее физико-химические свойства. С другой стороны, важной характеристикой систем "конденсированное вещество – газ" является работа адгезии.

Знание коэффициента поверхностного натяжения и работы адгезии позволяет получить информацию об энергетическом состоянии отдельных приповерхностных молекул, что особенно важно учитывать при разработке новых методов диагностики межфазных границ, а также методов исследования взаимодействия молекул на этих границах.

Краевой угол смачивания позволяет описать смачиваемость твердых поверхностей жидкостями. Эта характеристика позволяет определить поверхностное натяжение твердых тел, точнее «свободную энергию поверхности» (СЭП).

Существуют три метода измерения краевого угла смачивания:

- метод лежащей капли
- метод пластины Вильгельми
- метод поднятия по капилляру

Во многих процессах, таких как покраска, печать и т.п., необходима хорошая смачиваемость твердой поверхности жидкостью, которая зависит как от поверхностного натяжения жидкости $\sigma_{ж}$, межфазного натяжения жидкость/твердая поверхность $\sigma_{ж/ТВ}$, так и от свободной энергии твердой поверхности $\sigma_{ТВ}$. Соотношение сил межфазного и поверхностного натяжения в точке контакта трех фаз может описываться уравнением Юнга:

$$\sigma_{ТВ} = \sigma_{ж/ТВ} + \sigma_{ж} \cdot \cos \theta$$

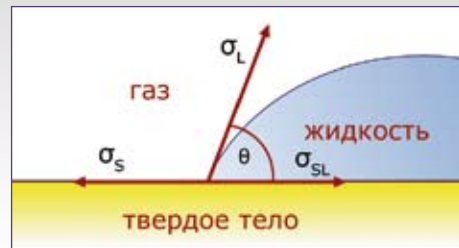
Для хорошего смачивания необходимо контролировать поверхностное натяжение фаз: энергия твердой поверхности должна быть выше, чем поверхностное натяжение жидкости, а разница полярных частей обоих показателей должна быть минимальна. Для твердых поверхностей с низкой энергией, например, для полимеров, можно повысить СЭП, в частности полярную часть, за счет обработки ее плазмой, коронным разрядом или химически.

Метод лежащей капли

В данном методе капля жидкости с известным поверхностным натяжением помещается на твердую поверхность с помощью шприца. Диаметр капли должен быть от 2 до 5 мм, что гарантирует, что краевой угол не будет зависеть от диаметра. В случае очень малых капелек будет велико влияние поверхностного натяжения самой жидкости (будут формироваться сферические капли), а в случае больших капель начинают доминировать силы гравитации.

Изначально измерения проводились с помощью гониометра (ручного прибора для измерения контактного угла) или микроскопа. Современные технологии позволяют записать изображение капли и получить все необходимые данные с помощью программ.

В методе лежащей капли измеряется угол между твердой поверхностью и жидкостью в точке контакта трех фаз. Частным случаем является метод «плененного пузырька»: краевой угол измеряется под поверхностью в жидкости.



Статический краевой угол

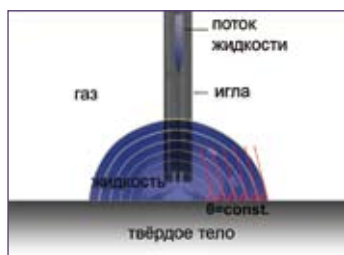
При статическом методе размер капли не меняется в течении всего измерения, но это не означает, что угол контакта всегда остается постоянным, воздействие внешних факторов может привести к его изменению. Из-за седиментации, испарения и аналогичных химических или физических взаимодействий краевой угол будет самопроизвольно изменяться со временем.

С одной стороны, статический краевой угол не может абсолютно оценить свободную энергию твердой поверхности, а с другой, он позволяет охарактеризовать временную зависимость таких процессов как высыхание чернил, нанесение клея, абсорбцию и адсорбцию жидкостей на бумаге.

Изменение свойств во времени (растекание капли) зачастую мешают исследованиям. В качестве источника ошибки также может выступить пятнышко, царапина на образце, любая неоднородная поверхность будет иметь отрицательный эффект в точности измерения, что может быть сведено к минимуму в динамических методах.

Динамический краевой угол

При измерении динамического контактного угла игла шприца остается в капле, и ее объем изменяется с постоянной скоростью. Динамический угол контакта описывает процессы на границе твердое тело/жидкость во время увеличения объема капли (наступающий угол) или при уменьшении капли (отступающий угол), т.е. во время смачивания и осушения. Граница не образуется мгновенно, для достижения динамического равновесия требуется время. Из практики рекомендуется устанавливать поток жидкости 5 – 15 мл/мин, более высокая скорость потока будет только имитировать динамические методы. Для высоковязких жидкостей (например, глицерина), скорость формирования капли будет иметь другие пределы.



Нарастающий угол

Во время измерения нарастающего угла игла шприца остается в капле на протяжении всего опыта. Сначала на поверхности образуется капелька диаметром 3-5 мм (при диаметре иглы 0,5 мм, которая используется фирмой KRÜSS), а потом она расплывается по поверхности.

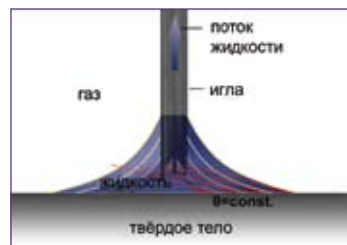
В начальный момент угол контакта не зависит от размера капли, т.к. сильны силы сцепления с иглой. При определенном размере капли угол контакта становится постоянным, и именно в этот момент надо проводить измерения.

Этот тип измерения имеет наибольшую воспроизводимость. В результате, нарастающие углы обычно измеряют для определения свободной энергии поверхности.

Отступающий угол

Во время измерения отступающего угла размер капли уменьшается, т.к. поверхность осушается: большая капля (приблизительно 6 мм в диаметре) помещается на поверхность и затем медленно уменьшается за счет всасывания через иглу.

По разнице между нарастающим углом и отступающим углом можно сделать заключение о неровностях поверхности или ее химической неоднородности. Отступающий угол НЕ подходит для расчета СЭП.



Методы оценки формы лежащей капли

Метод Юнга-Лапласа

Наиболее трудоемкий, но и наиболее точный метод расчета краевого угла. В этом методе при построении контура капли учитываются поправки на то, что не только межфазные взаимодействия разрушают форму капли, но и собственный вес жидкости. Эта модель предполагает, что форма капли симметрична, поэтому она не может использоваться для динамических краевых углов. Для нарастающей капли краевой угол также может быть определен только до 30°.

Метод длины-ширины

В этом методе оценивается длина растекания капли и ее высота. Контур, являющийся частью окружности, вписывают в прямоугольник и рассчитывают краевой угол из соотношения ширины и высоты. Данный метод более точен для мелких капель, формы которых ближе к сфере. Не подходит для динамического краевого угла, т.к. игла остается в капле и нельзя точно определить высоту капли.

Метод круга

В этом методе капля представляется как часть круга, как и в методе длины-ширины, однако краевой угол рассчитывается не с помощью прямоугольника, а с помощью сегмента окружности. Но в отличие от метода длины-ширины игла, оставшаяся в капле, меньше влияет на результаты измерения.

Тангенциальный метод 1

Полный контур лежащей капли подгоняется к уравнению конического сегмента. Производная этого уравнения в точке пересечения контура и базовой линии дает угол наклона в точке контакта, т.е. краевой угол. Этот метод может использоваться с динамическими методами оценки в том случае, если капля не сильно разрушается иглой.

Тангенциальный метод 2

Часть контура лежащей капли, расположенной рядом с базовой линией, адаптирована к функции полинома типа $y = a + bx + cx^{0.5} + d/\ln x + e/x^2$. Эта функция получилась в результате многочисленных математических моделирований. Метод считается точным, но чувствительным к загрязнениям и посторонним веществам в жидкости. Подходит для определения динамических краевых углов, но он требует четкого построения изображений, особенно в точке контакта фаз.

Метод пластины Вильгельми

Метод пластины изначально был разработан для измерения поверхностного натяжения жидкостей за счет смачивания платиновой пластины известной геометрии. Благодаря высокой поверхностной энергии платина смачивается почти всеми жидкостями, поэтому краевой угол обычно равен нулю ($\cos 0^\circ = 1$). Заменяв платину на исследуемый образец и взяв жидкость с известным поверхностным натяжением (σ), можно определить краевой угол. Образец должен иметь прямоугольную форму, с известной длиной сторон, чтобы можно было рассчитать длину смачивания L .

Для измерения динамического краевого угла методом пластины образец поверхности погружают в жидкость (с известным поверхностным натяжением) и вынимают из нее. Результирующая сила – сумма сил смачивания ($F_{см}$) и выталкивания ($F_{пл}$) – зависит от глубины погружения пластины.

Измерения краевого угла на основе сил, действующих на пластину, часто являются более точными, чем измерения на основе оптического наблюдения краевого угла. Но данный метод позволяет работать только со смачиваемыми образцами, т.е. определять краевые углы до 90° .

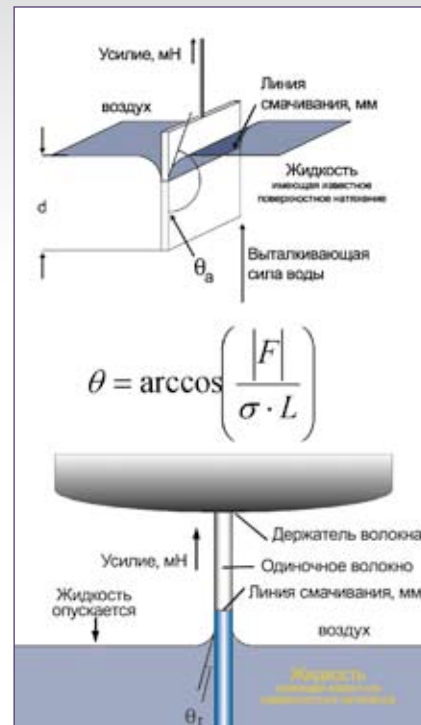
Метод пластины Вильгельми реализован в тензиометрах серии K100.

Метод одиночного волокна

При увеличении чувствительности прибора к действующим силам и расположению образца можно измерять краевой угол очень легких образцов, например, одиночных волокон или нитей (диаметром до $5 \mu\text{m}$). Метод одиночного волокна – частный случай метода пластины Вильгельми – применяется для исследования смачивания волос.

Данный метод позволяет измерять только краевой угол до 90° , т.е. смачиваемые образцы. Кроме того, если волокно представляет собой полый капилляр, то результаты могут быть недостоверны из-за влияния капиллярных сил. В таких случаях измерение необходимо проводить с помощью лежащей капли (и микродозирования).

Метод одиночного волокна реализован в тензиометрах серии K100. Для очень тонких волокон имеется специальная модель K100SF, а также специальный автозагрузчик волос.



Метод поднятия по капилляру (Метод Вашбурна)

Метод поднятия по капилляру – частный случай метода пластины – также реализован в тензиометрах K100. Этот метод был разработан для характеристики смачиваемости порошков и пучков волокон по степени проникновения жидкости (адсорбции).

Метод основан на измерении прироста массы образца во времени (m^2/t). Порошок или волокнистый материал (травы) помещается в стеклянную трубку с фильтром на одном конце. Эта трубка опускается в жидкость (с известным поверхностным натяжением), которая проникает через фильтр и смачивает порошок/волокна.

В данном методе высок человеческий фактор при подготовке образца. Разные порошки имеют разную насыпную плотность, чтобы получить достоверные результаты, эксперимент надо провести несколько раз на каждом образце. Кроме того, необходимо определять постоянную (C) капилляров, которая зависит от радиуса (r) микроскопических капилляров между частицами порошка или волокнами и от числа капилляров n_k . Для каждого нового порошка измеряют прирост массы (m^2/t) на хорошо смачивающей жидкости (например, на гексане), для которой $\cos 0^\circ = 1$.

Методы расчета свободной энергии поверхности (СЭП)

Свободная энергия поверхности эквивалентна поверхностному натяжению жидкости, которое можно легко измерить. Однако, свободная поверхностная энергия твердых материалов не может быть измерена непосредственно, она рассчитывается на основе краевого угла смачивания поверхностями различными жидкостями. В то же время, не существует универсального набора жидкостей, так как необходимо учитывать специфические взаимодействия на поверхности, активность и растворение верхних слоев. Основная задача при анализе свободной энергии поверхности – правильно подобрать тестовые жидкости и метод расчёта, чтобы получить максимально достоверные результаты.

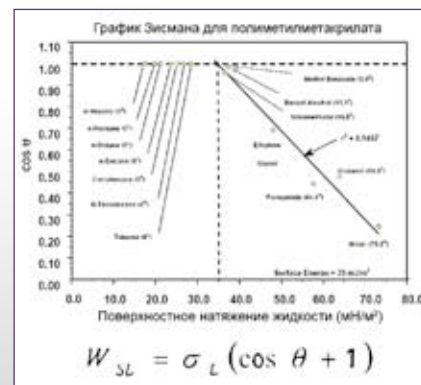
Как правило, для неполярных поверхностей используют неполярные жидкости и теории, которые не придают особого значения межмолекулярным взаимодействиям. Для полярных поверхностей, наоборот, применяются полярные жидкости и теории, основанные на взаимодействии активных центров (молекул) поверхности с газовой или жидкой фазой. Специалисты фирмы KRUSS обнаружили, что для измерения СЭП в качестве жидкостей хорошо подходят водные растворы спирта, т.к. полярность раствора меняется при изменении соотношения вода : спирт. Но смеси жидкостей следует использовать осторожно, т.к. смачивание поверхности одним компонентом смеси может быть выше.

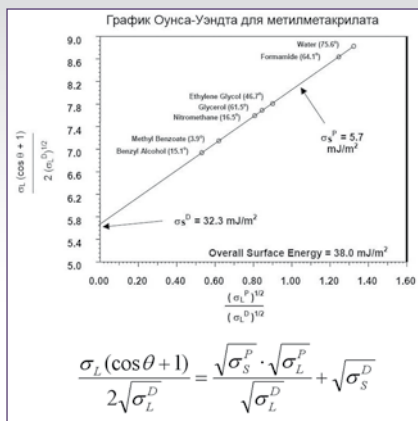
Ниже описаны несколько теорий, используемых в расчёте данных в приборах KRUSS. Предпочтения выбора той или иной теории остается за пользователями.

Метод Зисмана

Зисман предполагал, что свободная энергия твердой поверхности пропорциональна поверхностному натяжению жидкости, полностью смачивающей эту поверхность (т.е. $\theta = 0^\circ$). По методу Зисмана строят график в координатах $\cos \theta$ (ось Y) – σ (ось X) для различных жидкостей и далее экстраполируют усредненную кривую до $\cos \theta = 1$, полученное значение σ и является критическим напряжением сдвига.

В основном теория Зисмана великолепно работает на неполярных поверхностях (полиэтилен, полипропилен). Но для полярных поверхностей (стекло, керамика и металлы) теория Зисмана неадекватна, т.к. она основана на однопараметрической модели. Полимерные поверхности, которые подвергались термообработке или обработке плазмой, как правило, будут содержать полярные центры. Кроме того, существуют полярные полимеры (с гетероатомами), например, полиамиды, полиэфиры, полиакрилаты, поликарбонаты и др. В этом методе игнорируются межмолекулярные взаимодействия между жидкостью и твердым телом, а они очень сильны для полярных веществ.





Метод ОВРК (метод Оунса, Вендта, Рабеля и Кьельбле)

Оунс, Вендт, Рабель и Кьельбле рассматривали поверхностное натяжение с точки зрения полярной и дисперсионной составляющих. Они представили, что энергия поверхности твердого тела включает две составляющие: дисперсионную и полярную. Дисперсионная составляющая включает силы Ван-дер-Ваальса и другие неспецифические взаимодействия, полярная составляющая – сильные взаимодействия и водородные связи. На основе этих представлений было выведено уравнение.

Для расчета по модели ОВРК кроме поверхностного натяжения жидкости и краевого угла, необходимо знать дисперсионную и полярную составляющие. Для определения полярной и дисперсионной составляющих жидкости используют поверхность с известными данными, например, тефлон (PTFE). Предполагается, что СЭП чистого тефлона 18,0 мДж/м², и у него нет полярной составляющей. Значения полярной и дисперсионной составляющей для некоторых жидкостей имеются в литературе, а также в базе данных программ KRUSS. Зная составляющие жидкости, можно определить составляющие исследуемой твердой поверхности.

Метод Фоукса

Двухкомпонентная модель Фоукса также рассматривает полярные и дисперсионные взаимодействия, но с точки зрения адгезии. С математической точки зрения, теория Фоукса равнозначна теории ОВРК, но данное уравнение решается в два этапа. На первом этапе определяется дисперсионная составляющая СЭП с помощью неполярной жидкости (как правило, дихлорометана CH₂Cl₂): т.к. у такой жидкости нет полярной составляющей, то уравнение упрощается и дает возможность рассчитать дисперсионную составляющую СЭП твердой поверхности. На втором этапе уравнение решают относительно полярной жидкости (как правило, воды), для которой известны полярная и дисперсионная составляющие.

Двухкомпонентная модель Фоукса подходит для полярных поверхностей, но этот подход дает более высокие значения СЭП, чем по методу ОВРК. Построенная на основе изучения адгезии, модель Фоукса часто используется для изучения адгезионных свойств покрытий. Многие пользователи определяют СЭП по методу Фоукса, затем по методу Оунса-Уэндта, затем по разности этих значений находят энергию адгезии (энергию сцепления между поверхностью и покрытием). Наибольшая адгезия будет наблюдаться, когда поверхность с большим процентом полярной составляющей будет смачиваться столь же полярной жидкостью.

$$\frac{\sigma_L (\cos \theta + 1)}{2 \sqrt{\sigma_L^D}} = \frac{\sqrt{\sigma_S^D} \cdot \sqrt{\sigma_L^D}}{\sqrt{\sigma_L^D}} + \sqrt{\sigma_S^P}$$

$$\cos \theta = 2 \sqrt{\sigma_S^D} \sqrt{\frac{1}{\sigma_L^D}} - 1$$

для неполярной жидкости

$$\sigma_L (\cos \theta + 1) = 2 \left(\sqrt{\sigma_L^D \cdot \sigma_S^D} + \sqrt{\sigma_L^P \cdot \sigma_S^P} + \sqrt{\sigma_L^H \cdot \sigma_S^H} \right)$$

Метод Фоукса (расширенный)

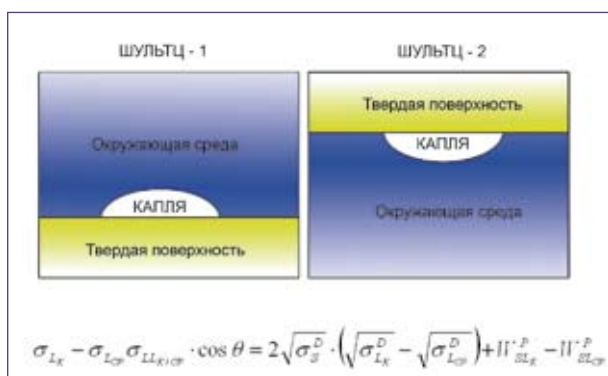
В расширенном методе Фоукса, кроме полярной и дисперсионной составляющих СЭП, рассматриваются водородные связи. В этом случае, решение уравнения проводится в три этапа: сначала с неполярной жидкостью, далее с полярной жидкостью, у которой отсутствуют водородные связи и завершается измерение на полярной жидкости с водородной составляющей.

Метод Ву

При исследовании межфазного натяжения Ву также начал с полярной и дисперсионной составляющих. Однако в отличие от других исследователей, которые использовали в своих расчетах геометрическую прогрессию, Ву взял за основу среднегармоническое значение. В результате он достиг более точных результатов, в частности для систем с большой свободной энергией поверхности.

$$\sigma_L (\cos \theta + 1) = 4 \left(\frac{\sigma_S^D \cdot \sigma_L^D}{\sigma_S^D + \sigma_L^D} + \frac{\sigma_S^P \cdot \sigma_L^P}{\sigma_S^P + \sigma_L^P} \right)$$

Для решения уравнения Ву необходимо как минимум 2 жидкости: полярную и неполярную. Для увеличения точности расчета можно увеличить количество жидкостей. В результате решения уравнения получаются две пары решений. Если одно из них имеет отрицательные значения, то выбор сделать не трудно, в противном случае необходимо свериться с результатами по другим методам расчета.



Метод Шультца

Данный метод используется только для поверхностей с высокой свободной энергией. Материалы с высокой энергией поверхности обычно хорошо смачиваются любыми жидкостями, поэтому их СЭП не может быть определена обычными методами. Для того чтобы исследовать такие системы, необходимо изменить обычную процедуру измерения: краевой угол («капли») измеряют в среде другой жидкости («среды») на или под поверхностью.

В методе Шультца-1 «капля» неизменна, а меняется окружающая фаза («среды»). В качестве «капли» обычно используется вода, в качестве окружающей среды – более легкая жидкость, которая не смешивается с водой. В методе Шультца-2 «капля» – более легкая жидкость, чем окружающая среда. Капля находится под поверхностью и напоминает больше не «лежачую», а «висящую» каплю. Во втором методе «среда» является постоянной жидкостью, а «капли» – различными. Преимуществом по отношению к методу Шультца-1 является то, что измеряемый краевой угол больше, а следовательно, выше точность.

Расчет СЭП производится аналогично расчету метода Фоукса. Сначала производится расчёт по неполярной жидкости, обладающей только дисперсионной составляющей, что позволяет определить дисперсионную составляющую поверхности. Далее уравнение решается для полярной жидкости, чтобы определить полярную составляющую поверхности.

Метод Оусса и Гуда

Оусс и Гуд также выделяли дисперсионную и полярную составляющие свободной энергии поверхности, но полярный компонент описывали с помощью льюисовых кислот и оснований. Таким образом, у них получалась трехкомпонентная модель: дисперсионная, кислотная и щелочная составляющие. Кислотная составляющая характеризует склонность поверхности при участии во взаимодействиях выступать в качестве донора электронов, а щелочная составляющая – в качестве акцептора электронов.

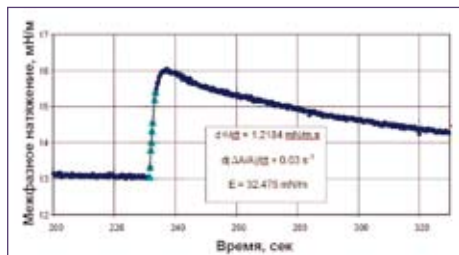
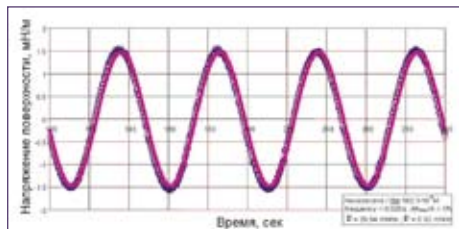
$$(1 - \cos \theta) \cdot \sigma_L = \sigma_S + \sigma_L - 2 \left(\sqrt{\sigma_S^D \cdot \sigma_L^D} + \sqrt{\sigma_S^+ \cdot \sigma_L^-} + \sqrt{\sigma_S^- \cdot \sigma_L^+} \right)$$

Для того чтобы решить уравнение Оусса и Гуда (определить σ_S^D) необходимы данные, как минимум, по трем жидкостям: σ_S^+ , σ_S^- и краевой угол θ . Как минимум две жидкости должны иметь кислотную и основную составляющие отличные от нуля. Кроме того, хотя бы одна жидкость должна иметь равные основную и дисперсионную составляющие ($\sigma_S^D = \sigma_S^-$), обычно для этих целей используют воду, т.к. она нейтральна по шкале Льюиса.

Поверхностная реология

Реология изучает поведение жидкостей – их вязкость и эластичность. Поверхностная реология исследует, как влияет изменение размера поверхности на поверхностное натяжение. Не следует смешивать понятия «реология течения» и «реология поверхности». Объектами поверхностной реологии являются растворы, содержащие ПАВ и меняющие поверхностное (межфазное) натяжение при деформации поверхности. При расширении поверхности (например, растяжение, пенообразование и т.п.) активные молекулы из толщи среды вкливаются в образовавшиеся «пустоты», что приводит к снижению поверхностного натяжения.

При изучении поверхностной реологии рассчитывают 2 параметра, характеризующие поведение поверхности: модуль эластичности (E') и модуль вязкости (E''). Модуль эластичности пропорционален размеру деформации поверхности, а модуль вязкости – скорости расширения или сжатия поверхности. Для исследования реологии поверхности и получения данных модулей применяется метод висящей капли. Капля деформируется за счет колебаний (осцилляций) – ODM-метод или за счёт расширения – EDM-метод.



В методе осциллирующей капли (ODM-метод) висящая капля расширяется и сжимается с определенной периодичностью. В результате деформации поверхностного натяжения и поверхности во времени представляют синусоиды. Если наблюдается сдвиг фаз между синусоидой поверхностного натяжения и синусоидой площади поверхности, то это означает, что молекулам в объеме необходимо некоторое время, чтобы среагировать на изменение внешних условий.

Сдвиг фаз и колебание поверхностного натяжения зависят от частоты колебаний, относительного изменения площади капли, от концентрации ПАВ в жидкости, от свойств ПАВ.

Метод колеблющейся капли (EDM-метод) позволяет изучать отклик поверхности на изменение условий и релаксацию поверхности. В данном методе висящую каплю расширяют или сжимают с определенной скоростью, а затем удерживают площадь поверхности постоянной. В этом измерении записывают отклик поверхности на деформацию (изменение поверхностного натяжения во времени). В зависимости от размера и активности молекул ПАВ время релаксации может занимать от нескольких минут до нескольких часов. На основе этого метода рассчитывается суммарный модуль эластичности (E).

Пенообразование

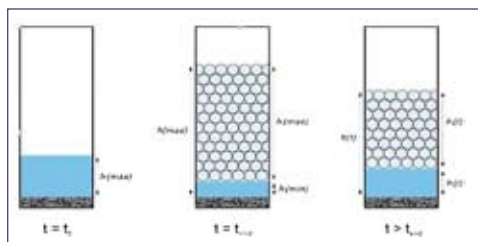
Пенообразование встречается во многих технологических процессах либо как целевой, либо как нежелательный (побочный) продукт.

Распад пены происходит по трем фазам:

- Выделение воды без распада
- Распад с одновременным выделением воды
- Распад после полного обезвоживания

Институт коллоидов и поверхностей Макса Планка запатентовал параметры t_{dev} и t_{tr} описывающие кинетику распада пены и выделение из нее воды. Параметры описывают стабильность пен на базе научных данных, характеризуют пену в краткосрочном периоде, позволяют судить о стабильности пен. В дополнение к параметрам t_{dev} и t_{tr} , рассчитанные данные позволяют судить об обычных характеристиках пены в отношении стабильности и распада.

Газовая фаза над пеной и, как правило, жидкость проникаемы для света, в то время, как колонка пены поглощает выделяемый свет. Границы двух фаз (жидкость/пена и пена/воздух) определяются с помощью измерения различий в интенсивности света. Даже для непрозрачных жидкостей можно получить ряд интересных данных.



В зависимости от времени определяются высота столба жидкости h_l и пены h_f (f = «foam»). Во время образования пены её высота h_f постоянно увеличивалась, в то время, как высота столба жидкости h_l – уменьшалась. Причина этого заключается в том, что во время создания пены жидкость включается в пенную фазу, что и приводит к снижению объема. В то же время высота пены увеличивается.

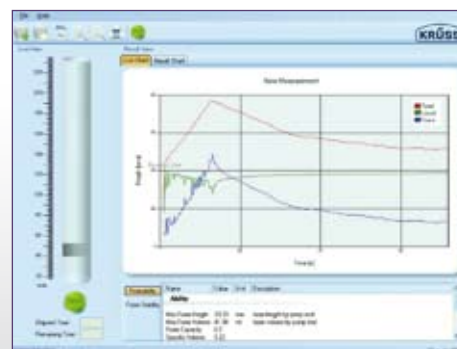
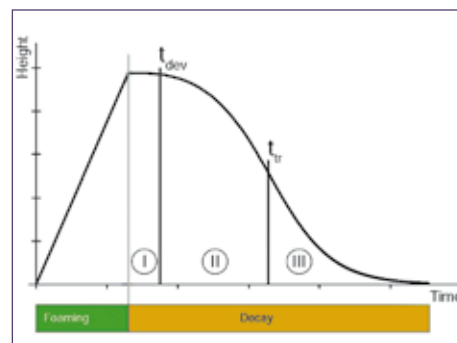
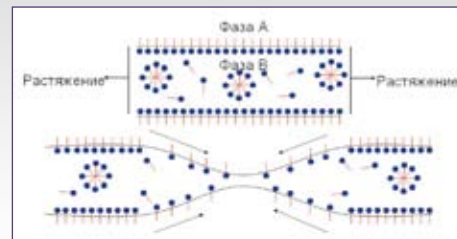
После окончания формирования пены (в момент времени t_{end}) высота пены имеет максимальное значение, а высота жидкости – минимальное.

В последующий период времени ($t > t_{\text{end}}$) происходит разрушение пены в три этапа. Сначала из пены выделяется вода, что приводит к увеличению высоты жидкости (h_l) и снижению высоты пены (h_f). На этой стадии общая высота $H = h_l + h_f$ остается постоянной, т.к. сокращение одного столбца компенсируется приростом другого. Окончание первого этапа обозначается t_{dev} («deviation time») и соответствует началу разрушения пены.

На втором этапе пена начинает схлопываться, при этом процесс выделения воды продолжается. В это время общая высота H начинает уменьшаться. Окончание этой фазы обозначают t_{tr} («transition time») – это точка окончания выделения воды.

На третьем этапе вода уже не выделяется, а высота пены снижается за счет разрыва тонких пленок. Общая высота на данном этапе снижается медленнее, чем на второй стадии.

Кривую, описывающую разрушение пены, можно описать с помощью математического уравнения, в котором задействованы выше описанные параметры. Оба параметра t_{dev} и t_{tr} характеризуют стабильность пен: чем выше значения, тем более стабильна пена. Склонность вещества к пенообразованию напрямую коррелируется с максимальным значением общей высоты H .



Компания ТИРИТ предлагает широкий спектр современного лабораторного и производственного оборудования от ведущих европейских и американских производителей. По ряду позиций наша фирма является эксклюзивным поставщиком на территории России и стран СНГ. Мы стремимся дополнять нашу линейку оборудования новыми интересными и востребованными позициями.

- Анализаторы стабильности эмульсий и суспензий
- Анализаторы точки плавления
- Анализатор белка по Кьельдалю
- Анализатор пены
- Диспергаторы лабораторные и промышленные
- Дистилляционные установки
- Гомогенизаторы высокого давления
- Испарители роторные и пленочные
- Камеры испытательные
- Камеры климатические
- Мельницы и блендеры
- Мешалки верхнеприводные и магнитные
- Насосы дозирующие и перекачивающие
- Насосы вакуумные
- Нутч-фильтры, друк-фильтры
- Печи высокотемпературные
- Приборы для измерения краевого угла
- Реакционный калориметр
- Реакторы стеклянные, металлические, эмалированные
- Реакторы проточные
- Спектрофотометр
- Сушки лабораторные и промышленные
- Тензиометры
- Термостаты и криостаты
- Ферментеры и биореакторы
- Центрифуги фильтрующие
- Шкафы сушильные
- Шланги лабораторные
- Экстракторы центробежные
- Экстракторы Сокслета, Рендаля



Электронную версию каталогов можно загрузить с сайта www.tirit.org. Мы также высылаем подборку печатных каталогов по почте.

Компания ТИРИТ зарегистрирована на электронных площадках Сбербанк-АСТ, РосЭлТорг, АКД, Фабрикант, для участия в электронных торгах, проводимых государственными учебными и исследовательскими институтами.

Офис компании расположен в Москве, но мы работаем со всеми регионами России, а также осуществляем поставки в Белоруссию и Казахстан. Технические специалисты ТИРИТ, прошедшие стажировку у производителей, выезжают на запуск и обучение персонала. Кроме того, наши клиенты могут получить поддержку или консультацию по телефону или электронной почте. На все поставляемое оборудование предоставляется гарантия, мы также осуществляем послегарантийную поддержку. Ремонт оборудования, в случае необходимости, производится в сервисном центре в Москве.

Дополнительную информацию о технических характеристиках и стоимости оборудования можно узнать, направив запрос по факсу или электронной почте. Наши специалисты подготовят предложение в течение суток.

